

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICO DE
DEMORAS PARA LAS MÁQUINAS ESTRIBADORAS STEMA PEDAX DE LA
EMPRESA TERNIUM COLOMBIA SAS CENTRO DE SERVICIOS ITAGÜÍ**

**JULIAN EDUARDO GRANADOS PIRAVAN
JUAN SEBASTIAN GIRALDO BELTRAN**

TRABAJO DE GRADO

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
MAESTRÍA EN SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE PRODUCCIÓN
PEREIRA
2018**

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICO DE
DEMORAS PARA LAS MÁQUINAS ESTRIBADORAS STEMA PEDAX DE LA
EMPRESA TERNIUM COLOMBIA SAS CENTRO DE SERVICIOS ITAGÜÍ**

**JULIAN EDUARDO GRANADOS PIRAVAN
JUAN SEBASTIAN GIRALDO BELTRAN**

**DIRECTOR: WILLIAM PRADO MARTINEZ
MSC. EN SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE PRODUCCIÓN**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE MAGISTER EN
SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE PRODUCCIÓN**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
MAESTRÍA EN SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE PRODUCCIÓN
PEREIRA
2018**

AGRADECIMIENTOS

¡Gracias a mi madre hermosa, una mujer incansable que siempre con la ayuda de Dios me sigue apoyando y siendo esa fuerza necesaria, para culminar mis metas!

Juan Giraldo.

¡A mamá y papá porque gracias a ellos hoy soy quien soy!

¡A mis hermanos por su amor!

A mi gran amigo y profesor William Prado Martínez por su apoyo constante y guía desde hace mucho tiempo.

A Dani.... mi esposa, mi pareja, mi mejor amiga, confidente, amante, luz, mi columna vertebral, mi apoyo incondicional... mi todo!

¡A Thomas Granados Parra, mi compañero de aprendizajes, mi mejor amigo, mi hijo, mi gran inspiración y la muestra verídica que el amor incondicional existe!

Julian Eduardo Granados Piravan

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS PRODUCTIVAS DE TERNIUM COLOMBIA SAS PLANTA ITAGÜÍ	12
1.1 PLANTA DE PRODUCCIÓN ITAGÜÍ	14
1.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE OPERACIONES.....	23
2. IDENTIFICACIÓN E INTERVENCIÓN DE LA CAPA FÍSICA DE COMUNICACIONES ENTRE EL CONTROLADOR Y EL PANEL DE OPERACIONES DE LA MÁQUINA	33
2.1 ESTRIBADORA TWINMASTER 16II.....	33
2.1.1 <i>Panel de operaciones</i>	34
2.2 SISTEMA ELECTRÓNICO DE COMUNICACIONES DE LA MÁQUINA ESTRIBADORA TWINMASTER 16III	41
3. COMPORTAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA TRAMA DE COMUNICACIONES ENTRE EL CONTROLADOR Y EL PANEL DE OPERACIONES DE LA MÁQUINA	46
3.1 CAPTURA Y ANÁLISIS DE TRAMAS DE COMUNICACIÓN	46
3.2 ANÁLISIS DE TRAMAS DE COMUNICACIÓN	49
4. APLICACIÓN IMPLEMENTADA PARA EL SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICO DE DEMORAS	55
4.1 DESARROLLO DE APLICATIVO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICO DE DEMORAS 55	
5. RESULTADOS.....	66
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70
ANEXOS	72

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. PRODUCTOS GENERADOS POR TERNIUM COLOMBIA SAS PLANTA ITAGÜÍ	14
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS MÁQUINAS ESTRIBADORAS CENTRO DE SERVICIOS ITAGÜÍ.....	17
TABLA 3. APORTE DE PRODUCCIÓN DE MÁQUINAS ESTRIBADORAS.....	32
TABLA 4. DESCRIPCIÓN DE PINES DE CIRCUITO INTEGRADO MAX232	43
TABLA 5. REGISTRO DE TIEMPOS SISTEMA DE DEMORAS AUTOMÁTICO VS REGISTRO MANUAL	66

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. TERNIUM EN COLOMBIA.....	12
FIGURA 2. SISTEMA INDUSTRIAL INTEGRADO TERNIUM	13
FIGURA 3. PRODUCTOS TERNIUM COLOMBIA SAS.....	13
FIGURA 4. EJEMPLO DE MALLA ELECTROSOLDADA	15
FIGURA 5. BARRA CORRUGADA	16
FIGURA 6. ALGUNOS TIPOS DE ESTRIBOS	16
FIGURA 7. COLUMNAS EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN	17
FIGURA 8. FOCUS 12	18
FIGURA 9. STAFF 12S	18
FIGURA 10. TWINMASTER 12S	18
FIGURA 11. TWINMASTER 16III.....	19
FIGURA 12. TWINMASTER 16II.....	19
FIGURA 13. CICLO DE GESTIÓN EMPRESARIAL	20
FIGURA 14. ÁREAS DE OPERACIÓN TERNIUM COLOMBIA	20
FIGURA 15. ESTRUCTURA DE TIEMPOS	24
FIGURA 16. SISTEMAS DE INFORMACIÓN TERNIUM COLOMBIA SAS	27
FIGURA 17. VISUAL FLASH	27
FIGURA 18. SISTEMA DE GESTIÓN DE LÍNEA MÉXICO.....	28
FIGURA 19. SISTEMA DE CONTROL DE DEMORAS.....	28
FIGURA 20. DIAGRAMA DE FLUJO ÁREA OPERACIONES	29
FIGURA 21. FORMATO DE TIEMPOS.....	30
FIGURA 22. DIGITALIZACIÓN DE FORMATO DE TIEMPOS	31
FIGURA 23. SUBSISTEMAS ESTRIBADORA.....	34
FIGURA 24. LOGIC SOFT: CONFIGURACIÓN.....	35
FIGURA 25 LOGIC SOFT: SELECCIÓN	36
FIGURA 26. LOGIC SOFT: EDICIÓN	37
FIGURA 27. LOGIC SOFT: CONFIGURACIONES ADICIONALES.....	38
FIGURA 28. LOGIC SOFT: PRODUCCIÓN.....	39
FIGURA 29. LOGIC SOFT: PRODUCIENDO	40
FIGURA 30. TARJETA P4	41
FIGURA 31. ESQUEMA DE CONEXIÓN ENTRE TARJETA ELECTRÓNICA P4 Y COMPUTADOR CON SOFTWARE LOGIC SOFT	42
FIGURA 32. CIRCUITO INTEGRADO MAX232	42
FIGURA 33. CIRCUITO ELECTRÓNICO UTILIZADO POR STEMA PEDAX PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MAX232	43
FIGURA 34. CONEXIÓN OSCILOSCOPIO PARA VISUALIZACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS DE COMUNICACIÓN SERIAL.....	44
FIGURA 35. SEÑALES ELÉCTRICAS DE LA COMUNICACIÓN SERIAL	44
FIGURA 36. DIAGRAMA DE INSTALACIÓN DEL SNIFFER.....	47
FIGURA 37. CAPTURA DE PANTALLA DEL SOFTWARE SNIFFER DEVICE MONITORING STUDIO	48

FIGURA 38. CAPTURA DE DATOS DESDE SOFTWARE SNIFFER DEVICE MONITORING STUDIO	48
FIGURA 39. DATOS HEXADECIMAL 1 ESTADO DE MÁQUINA: DETENIDA	49
FIGURA 40. DATOS HEXADECIMAL 2 ESTADO DE MÁQUINA: DETENIDA	50
FIGURA 41. DATOS HEXADECIMAL 3 ESTADO DE MÁQUINA: DETENIDA	50
FIGURA 42. DATOS HEXADECIMAL 1, ESTADO DE MÁQUINA: PRODUCIENDO...	51
FIGURA 43. DATOS HEXADECIMAL 2 ESTADO DE MÁQUINA: PRODUCIENDO....	51
FIGURA 44. DATOS HEXADECIMAL 3 ESTADO DE MÁQUINA: PRODUCIENDO....	52
FIGURA 45. DATOS HEXADECIMAL 4 ESTADO DE MÁQUINA: PRODUCIENDO....	52
FIGURA 46. DATOS HEXADECIMAL 5 ESTADO DE MÁQUINA: PRODUCIENDO....	52
FIGURA 47. DATOS HEXADECIMAL 1 ESTADO DE MÁQUINA: INTERMEDIO	53
FIGURA 48. ESTRUCTURA DE TRAMA DE DATOS.....	54
FIGURA 49. AGREGAR DRIVER DE COMUNICACIÓN SERIAL	56
FIGURA 50. SELECCIÓN DRIVER DE COMUNICACIONES	56
FIGURA 51. OPCIÓN DE CONFIGURACIÓN DE DRIVER DE COMUNICACIONES SELECCIONADO.....	57
FIGURA 52. VENTANA DE CONFIGURACIÓN DEL DRIVER DE COMUNICACIÓN SERIAL TXRX.....	58
FIGURA 53. INSERTAR HOJA DE DRIVER.....	58
FIGURA 54. CONFIGURACIÓN HOJA DE CÁLCULO DE DRIVES TXRX	59
FIGURA 55. CONEXIÓN PARA LA LECTURA DE COMUNICACIÓN DESDE INDUSOFT.....	60
FIGURA 56. ARRANQUE DE PRUEBA DE RECEPCIÓN DE INFORMACIÓN	61
FIGURA 57. VARIABLE OBTENIDA DEL <i>TAG STATE</i> DURANTE LA EJECUCIÓN DE PRUEBA	61
FIGURA 58. PANTALLA HOME DE LA APLICACIÓN DESARROLLADA.....	62
FIGURA 59. ESTADO "TRABAJANDO" DE LA MÁQUINA A LA CUAL SE LE INTERCEPTA LA COMUNICACIÓN.....	63
FIGURA 60. VENTANA EMERGENTE EN DONDE EL OPERARIO DEBE REPORTAR LA CAUSA DEL PARO DETECTADO	64
FIGURA 61. ARCHIVO XML DONDE QUEDA ALMACENADA LA INFORMACIÓN	65
FIGURA 62. SCRIPT GLOBAL DE LA APLICACIÓN	72
FIGURA 63. SCRIPT ESPECÍFICO PARA PANTALLA DE VISUALIZACIÓN DE LA MÁQUINA	73

El contenido de este documento y sus anexos son únicamente para el uso del destinatario y pueden contener información clasificada o reservada. Si usted no es el destinatario intencional, absténgase de cualquier uso, difusión, distribución o copia de esta información.

RESUMEN

Basado en la necesidad de aumentar la confiabilidad y exactitud en la recolección de datos de las diferentes paradas en la producción de las máquinas estribadoras STEMA PEDAX de la empresa Ternium Colombia SAS centro de servicios Itagüí, se implementa un sistema tecnológico de detección automático de demoras. Mejorando así la gestión de los indicadores de productividad y tiempo neto de la línea productiva de figuración delgada.

Para lo anterior se explica el sistema de gestión operativo implementado por la compañía, así como los indicadores industriales de proceso. Se selecciona la máquina en donde se implementará el proyecto piloto y se muestra el estado actual de los diferentes sistemas de las máquinas estribadoras. Seguido a esto, se expone cómo se realiza la caracterización e interpretación de la comunicación entre el sistema de control electrónico de la máquina y la interfaz hombre máquina. Luego se indica cómo se realiza la toma de datos sin afectación a la comunicación existente y por último se selecciona Indusoft Web Studio Educational V8.0, el cual cuenta con 208 drivers disponibles para la conexión con diferentes dispositivos. Dentro de estos se encuentra el driver TXRX que permite poder adquirir los datos que ingresan por el puerto serial del computador. Por último, se desarrolla y se implementa la aplicación propuesta.

Con lo anterior, la compañía puede tener la confiabilidad y precisión de la información, aumentando la velocidad en la toma de decisiones, mejorando en 24 horas la disponibilidad de la información y mejorando la gestión de su línea productiva.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo contiene el informe de los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto “implementación de sistema de detección automático de demoras para las máquinas estribadoras STEMA PEDAX de la empresa Ternium Colombia SAS centro de servicios Itagüí” ejecutado como requisito para obtener el Título de Magister en Sistemas Automáticos de Producción en la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP).

Para tal efecto se contó con la tutoría en la Universidad, específicamente, del profesor William Prado Martínez y con el apoyo de la empresa Ternium Colombia SAS.

En primera instancia se definió el objetivo general el cuál buscó desarrollar e implementar un sistema de detección automático de demoras para las máquinas estribadoras STEMA PEDAX de la empresa Ternium Colombia SAS centro de servicios Itagüí. El cual conlleva a la definición de los siguientes objetivos específicos:

- Identificar e intervenir la capa física de comunicaciones entre el controlador y el panel de operaciones de la máquina.
- Identificar el comportamiento y las características de la trama de comunicaciones entre el controlador y el panel de operaciones.
- Desarrollar e Implementar una aplicación para la adquisición de los datos necesarios para la gestión de los indicadores de productividad y tiempo neto para la línea de productos de delgados.

En el capítulo I, se realizó una breve reseña de la compañía TERNIUM COLOMBIA SAS; donde se introdujo al lector en la magnitud del mercado de la compañía y diversidad de los productos que se realizan en Colombia, llevando en contexto hacia la línea productiva en estudio, el cual es el CENTRO DE SERVICIOS ITAGUI en el que se explicaron los procesos y productos puntuales de este centro. Adicional a lo anterior, se llevó a cabo un análisis sobre la gestión operativa de una línea productiva, en la que se argumentó su estructura de tiempos y su gestión en el estudio de indicadores operativos, donde se hace énfasis a la potencialidad del producto relacionado en el documento (automatización de los canales de toma de datos de cada máquina). Por último, se muestran los sistemas de información con los que actualmente cuenta la compañía y se da a conocer en donde se implementará el proyecto aquí desarrollado.

En el capítulo II, se describe la máquina seleccionada para la implementación del sistema de control de demoras y se mencionan los diferentes sistemas de esta. Se describe la etapa de comunicaciones del sistema de control con la interfaz hombre maquina actual y se caracteriza la transmisión de datos entre ellos.

En el capítulo III, se muestra como con la ayuda de un software sniffer se capturan los datos transmitidos en la comunicación actual de la máquina para posteriormente ser analizados. Aquí se logra identificar la estructura de la trama de información, así como el byte dentro de la misma que indica el estado operativo de máquina.

En el capítulo IV, se indica el software seleccionado para el desarrollo del sistema de demoras automático, así como el driver de comunicaciones utilizado. Posterior a esto se verifican y validan los resultados de las pruebas de conexión y adquisición de datos, para luego mostrar el entorno grafico desarrollado.

En el capítulo V, se muestran los resultados obtenidos los cuales corroboran la validez de la implementación propuesta para el sistema automático de demoras.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta para la continuidad del desarrollo de la herramienta propuesta.

1. DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS PRODUCTIVAS DE TERNIUM COLOMBIA SAS PLANTA ITAGÜÍ

Ternium Colombia SAS es una compañía dedicada a la fabricación y distribución de productos de acero, que provee soluciones integrales para el sector construcción, infraestructura e industria. Actualmente, Ternium Colombia SAS ofrece un portafolio de más de 3400 productos de acero agrupados en las categorías de perfiles, tubería, largos y planos, contando con una capacidad de producción de 250.000 toneladas de acero terminado por año. La compañía cuenta con 7 plantas distribuidas en el territorio colombiano, la Figura 1 muestra la distribución geográfica de las plantas.

Figura 1. Ternium en Colombia



Fuente: Adaptado por los autores tomada de Google Earth

La actividad productiva de la empresa abarca desde la producción de acero hasta la transformación final en productos sobre líneas de producción en plantas especializadas. La Figura 2 muestra el sistema industrial implementado en Colombia.

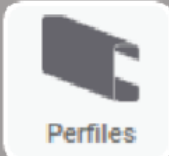



Figura 2. Sistema industrial integrado Ternium



Fuente: Catálogo de soluciones Ternium Colombia

Las líneas de producción incluyen perfilería, tuberías, aceros largos y aceros planos. De acuerdo con la distribución geográfica y a las capacidades productivas de cada planta, las líneas elaboran productos de consumo nacional. En la Figura 3 se muestran los productos de las diferentes líneas mencionadas.

Figura 3. Productos Ternium Colombia SAS

 <p>Perfiles</p> <ul style="list-style-type: none"> Cerramiento Conducción SCH540 Estructural Cuadrada Mecánica Cerramiento Negra y Galvanizada Estructural Rectangular Estructural Redonda Ternium Perfil Drywall Ternium Perlín 	 <p>Tubería</p> <ul style="list-style-type: none"> Cerramiento Conducción SCH540 Estructural Cuadrada Mecánica Cerramiento Negra y Galvanizada Estructural Rectangular Estructural Redonda
 <p>Largos</p> <ul style="list-style-type: none"> Acero Figurado Barra Grafilada Barra Roscada Barra Corrugada Perfiles Laminados Ángulos Perfil Canal Alambron Malla Electrosoldada 	 <p>Planos</p> <ul style="list-style-type: none"> Laminado en frío y en caliente Teja Zinc

Adaptado por los autores, tomado de Tomado de catálogo de soluciones Ternium

1.1 PLANTA DE PRODUCCIÓN ITAGÜÍ

El centro de servicios y planta de producción de Ternium Colombia SAS, ubicada en la ciudad de Itagüí en el departamento de Antioquía cuenta con una capacidad de producción de 5000 toneladas de acero terminadas por año. Esta planta se enfoca en la producción de acero figurado, barra grafilada y malla electrosoldada, pertenecientes a la categoría de productos largos (ver Tabla 1).

Tabla 1. Productos generados por Ternium Colombia SAS planta Itagüí

CATEGORÍA	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN
LARGOS	Acero Figurado	Acero de refuerzo cortado y figurado a la medida, de acuerdo con los requerimientos de cada cliente y entregado directamente en las obras o proyectos, para usos constructivos de confinamiento y amarre. [2]
	Barra Grafilada	Productos de acero formado en frío mediante trefilación, a partir de acero laminado en caliente. Adicional a esto tiene como característica la presencia de resaltes en toda su longitud. [2]
	Malla Electrosoldada	Las Mallas electrosoldadas están constituidas por barras grafiladas que forman ángulos rectos entre si y se encuentran soldados por resistencia eléctrica en los puntos de intersección. Estas mallas se producen en paneles o rollos. [2]

Fuente: los autores

Líneas productivas

El acero figurado se divide en dos líneas productivas, la primera de ellas lleva el nombre de figuración gruesa y la segunda de figuración delgada. Por otra parte, los productos de barra grafilada y malla electrosoldada hacen parte de una línea productiva que lleva el nombre de customizados.

Es importante adicionar y aclarar que las líneas de figuración gruesa y figuración delgada trabajan bajo un proceso productivo de fabricación sobre pedido (*“make to order”*, nombrado así por Ternium) que como lo indica [3] es cuando la fábrica efectúa su producción en función de unos pedidos confirmados de los clientes y de acuerdo con fechas de entrega acordadas. A diferencia que las líneas de figuración gruesa y delgada, la línea de producción customizados trabaja bajo un proceso productivo de fabricación para stock (*“make to stock”*, nombrado así por Ternium), en donde como también lo expresa [3] la fábrica anticipa la demanda, crea un stock de producto terminado el cual el departamento comercial se encarga de vender.

Se debe resaltar que en la fabricación para *stocks*, el servicio al cliente, en el sentido de disponibilidad de producto, rapidez de entrega y fiabilidad en el plazo de entrega, tiene que efectuarse básicamente a través de los almacenes comerciales y los servicios logísticos de la empresa, ya que la fábrica se limita a cumplir un plan de producción

acordado con el departamento de planeación, mientras que en el caso de fabricación sobre pedido, es la fábrica la que tiene la responsabilidad del cumplimiento de las entregas acordadas, por lo que adquiere una gran importancia el concepto de planificación y control. [3]

Customizados

La línea productiva de customizados busca satisfacer un mercado específico del sector construcción y se divide en los siguientes productos.

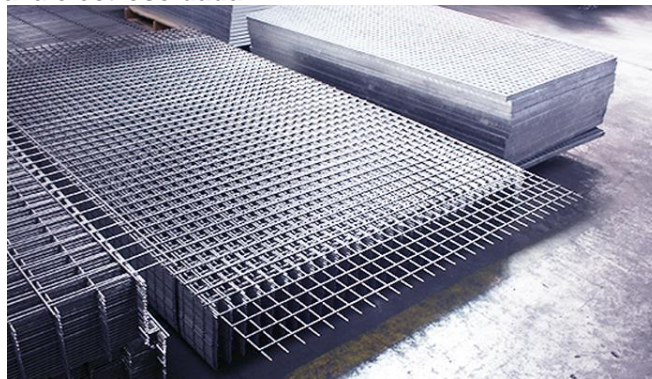
Barra Grafilada

Producto de acero formado en frío mediante trefilación, a partir de acero laminado en caliente. Adicional a esto tiene como característica la presencia de resaltes en toda su longitud. Este material es utilizado como refuerzo en construcciones de concreto y como componente de malla electrosoldada. Este material se produce con una longitud estándar de 6m. [1]

Malla Electrosoldada

La malla electrosoldada está constituida por barras grafiladas que forman ángulos rectos entre sí y que se encuentran soldadas por resistencia eléctrica en los puntos de intersección (ver Figura 4). Este material es utilizado para concreto en losas, muros y elementos prefabricados, entre otras aplicaciones. [1]

Figura 4. Ejemplo de malla electrosoldada



Fuente: JACOM Strategic allies¹

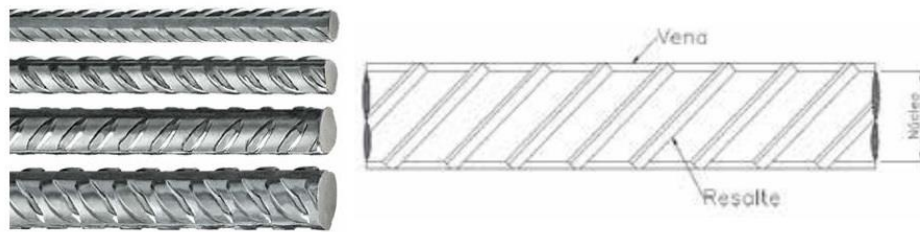
Figuración Gruesa

La figuración gruesa hace referencia al proceso para conseguir producto terminado y/o transformado a partir de barras de acero laminadas en caliente y con resaltes en su superficie (ver Figura 5).

¹ JACOM Strategic allies. Malla electrosoldada, Paneles de malla metálica para jaulas y ferreterías. [en línea]. < <https://jacomgroup.com/malla-electrosoldada/>>. [citado en 8 de junio de 2018]

Este material posee un rol esencial en la construcción de obras civiles, residenciales, comerciales e industriales en donde es utilizado a manera de refuerzo para concreto en estructuras sismo resistentes como muros, losas, vigas, columnas (ver Figura 7), tanques de agua, edificios, diques, entre otras. Las longitudes estándar del producto son de 6m, 9m, 12m y 14m con diámetros que inician en 19,05 mm (3/4") hasta 31,75 mm (1 1/4").

Figura 5. Barra corrugada



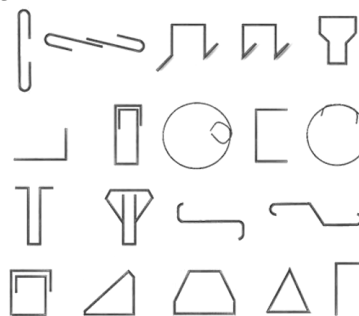
Fuente: Catálogo de Soluciones Ternium Colombia

Figuración Delgada

La figuración delgada se refiere al proceso para conseguir producto terminado y transformado llamado estribo, a partir de rollos (chipas) de alambrión corrugado con diámetros de 6,35 mm (1/4") a 15,87 mm (5/8"). [1]

Estribo es un término genérico para definir un elemento caracterizado por una determinada forma geométrica, cerrada o abierta, en el cual hay presente un cierto número de lados y de ángulos (ver Figura 6). Este material se aplica en el campo de la construcción como elemento que forma parte de las estructuras de reforzamiento de manufacturados en hormigón armado (ver Figura 7). [6]

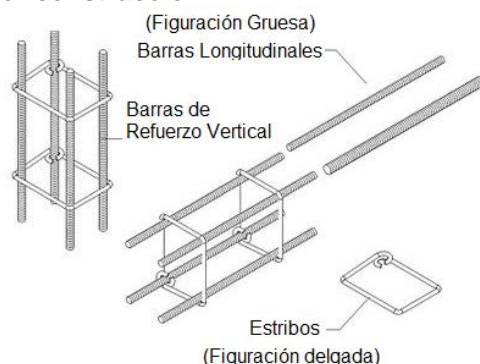
Figura 6. Algunos tipos de estribos



Fuente: ArchDaily²

² ArchDaily. Acero Varilla Habilitada (Gerdau Corsa). [en línea]. <<https://www.archdaily.mx/catalog/mx/products/7092/acero-varilla-habilitada-gerdau-corsa>>. [citado el 8 de junio de 2018].

Figura 7. Columnas en el sector construcción



Fuente: Tavo Stogas³

Máquinas empleadas en la línea de figuración delgada

La transformación de los rollos de alambón corrugado se realiza haciendo uso de máquinas llamadas estribadoras. Stema Pedax y Mep Group son dos de los fabricantes más reconocidos de este tipo de máquinas. La Tabla 2 caracteriza de forma específica los diferentes modelos de estribadoras instaladas en el centro de servicios Itagüí.

Tabla 2. Características máquinas estribadoras centro de servicios Itagüí

MÁQUINA	FABRICANTE	CANTIDAD EN PLANTA	CARACTERÍSTICA	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	
				Diámetro de alambón	toneladas/hora
FOCUS 12 (Ver Figura 8)	MEP GROUP	1	ELECTRICA HIDRÁULICA	1/2" 3/8" 1/4"	0,67 0,67 0,39
STAFF 12S (Ver Figura 9)	MEP GROUP	1	ELECTRICA NEUMÁTICA		
TWINMASTER 12S (Ver Figura 10)	STEMA PEDAX	2	ELECTRICA NEUMÁTICA		
TWINMASTER 16III (Ver Figura 11)	STEMA PEDAX	1	ELECTRICA NEUMÁTICA HIDRÁULICA	5/8" 1/2" 3/8" 1/4"	1,96 1,57 1,27 0,74
TWINMASTER 16II (Ver Figura 12)	STEMA PEDAX	1	ELECTRICA HIDRÁULICA	5/8" 1/2" 3/8" 1/4"	1,08 0,83 0,67 0,39

Fuente: los autores

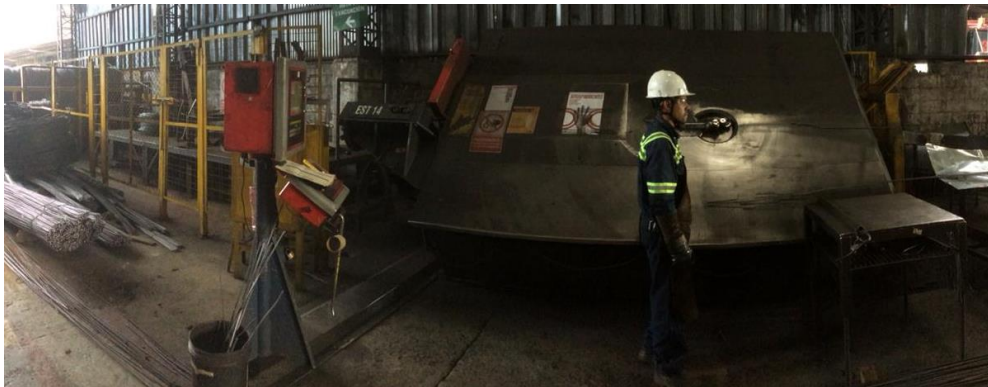
³ Tavo Stogas. Armados, Organización espacial de la ferralla. [en línea]. < <https://sites.google.com/site/tavostogasinfo/armados>>. [citado el 27 de septiembre de 2018].

Figura 8. Focus 12



Fuente los autores

Figura 9. Staff 12S



Fuente: los autores

Figura 10. Twinmaster 12S



Fuente: los autores

Figura 11. Twinmaster 16III



Fuente: los autores

Figura 12. Twinmaster 16II



Fuente: los autores

Ciclo de gestión empresarial - centro de servicios Itagüí

Ternium, en su centro de servicios de Itagüí, aplica el modelo de gestión empresarial cíclico propuesto por [3], el cual establece una dinámica para planificar, ejecutar, evaluar y controlar las líneas productivas de figuración y customizados. Adicionalmente, se revela el impacto y la importancia que tiene la recolección y análisis de información de la producción en el excelente desempeño y continuo mejoramiento de la empresa. En la Figura 13 se muestran las fases con las que cuenta el modelo de gestión empresarial propuesto por [3], entre las fases de ejecución y control se implementa la interfase de información de la producción.

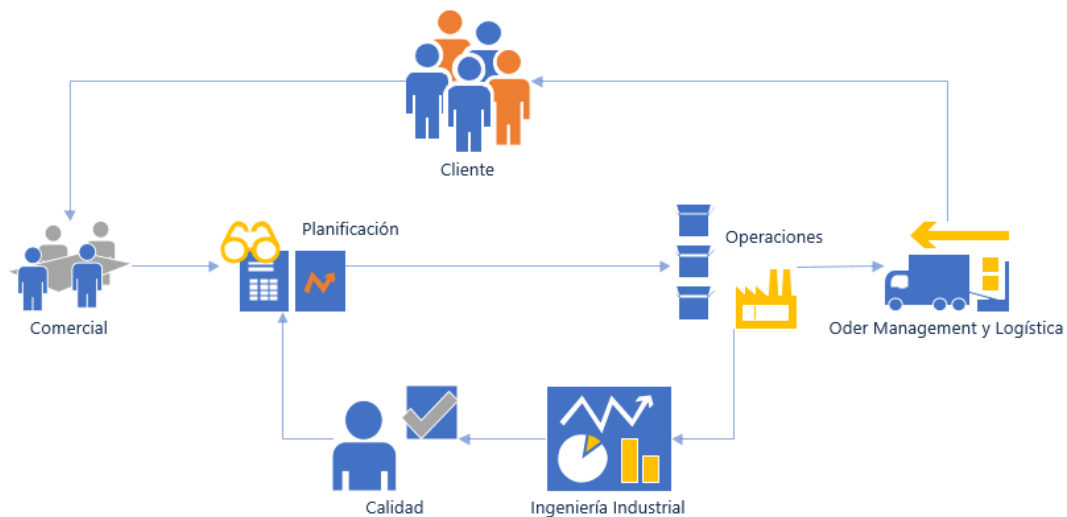
Figura 13. Ciclo de gestión empresarial



Tomada de J.J. Anaya Tejero, Organización de la producción industrial. Un enfoque de gestión operativa en fábrica

Ternium (Centro de servicios Itagüí) lleva a cabo las fases de planificación, ejecución, evaluación y control creando una estructura operacional, en la cual cada área de operación es responsable de una fase en particular, actuando de manera sincronizada para conformar el ciclo de producción. Al igual que el modelo, durante la gestión empresarial se da una gran relevancia a la información que se recolecta sobre la producción ya que demuestra el impacto que esta misma puede llegar a tener en la productividad y eficiencia en la operación. La Figura 14 refleja las áreas de operación y la relación que existe entre cada una de ellas.

Figura 14. Áreas de operación Ternium Colombia



Fuente: los autores

A continuación, se realizará una descripción del ciclo de gestión empresarial de Ternium (Centro de servicios Itagüí), una vez se recibe un pedido de acero por parte del cliente hasta que este mismo es entregado en el tiempo estipulado.

- **Comercial**

El área comercial se encarga de recibir y cotizar todos los requerimientos que el cliente requiera y/o solicite, a su vez de asegurar que por cada aceptación de negociación se genere una orden de compra o contrato. Igualmente, son los responsables de notificar a planificación de toda orden de compra o contrato con las premisas de fecha acordada, lugar y condición de entrega.

- **Planificación**

Con la información suministrada por el área comercial, el personal de planificación genera una matriz de programación y control de producción. Lo anterior teniendo las fechas de entrega, las condiciones para la entrega, restricciones de fabricación y la carga diaria de producción de la planta. Posterior a los acuerdos que se realicen con el personal de operaciones proceden a enviar la matriz para programar la fabricación.

- **Operaciones**

De acuerdo con la matriz de fabricación enviada por el área de planificación, se distribuyen los pedidos de producción en las diferentes máquinas (teniendo en cuenta sus capacidades) de las líneas productivas, buscando cumplir las fechas pactadas para la entrega oportuna del producto o pedido terminado al área de logística y Order Management.

Para lograr lo anterior, el área de operaciones hace un seguimiento diario del estado de sus líneas basado en un sistema de gestión de operaciones el cual brinda una percepción clara de la realidad e indica claramente los desvíos de cada proceso respecto a sus estándares productivos. El siguiente capítulo se describe el sistema de gestión de operaciones, pues es allí donde se explica la importancia del proyecto desarrollado enfocado a los sistemas automáticos de producción.

- **Ingeniería Industrial**

El área de Ingeniería Industrial busca garantizar un proceso continuo de mejora para la optimización del performance operativo e incrementar la eficiencia y productividad en las diferentes líneas mencionadas. Esto a través de estudios de mejora, análisis de gestión, establecimiento y verificación de cumplimiento de estándares, así como del abastecimiento de información para toma de decisiones que apoyen a maximizar los resultados operativos de la empresa [7].

- ***“Order Management” y Logística***

En el momento en que el área de OM (Order Management) recibe el pedido producido por el área de operaciones, este realiza la programación de despacho con la correspondiente asignación de ruta, vehículo y conductor. La programación realizada por OM es ejecutada por logística quien se encarga de dar cumplimiento a las premisas dadas para la entrega al cliente.

- ***Calidad***

El área de calidad es quien verifica que las diferentes áreas de la compañía ejecuten los procesos internos de manera correcta para así asegurar calidad en el servicio y en el producto terminado requerido por los clientes, basándose en el sistema de gestión de calidad definido dentro de la norma ISO 9001:2015 y en las normas técnicas que apliquen a los productos.

1.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE OPERACIONES

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 1.1 (página 20), el área de operaciones se basa en un sistema de gestión de operaciones para poder cumplir con la producción planificada, puesto que este sistema permite realizar el seguimiento y control de sus líneas productivas. A continuación, se dan a conocer los objetivos del sistema aplicado, así como las herramientas definidas para la correcta aplicación de la misma.

Objetivos del sistema de gestión de operaciones

- Brindar una percepción clara de la realidad.
- Asegurar la relación entre la operación y lo que se refleja en los indicadores.
- Indicar claramente los desvíos de cada proceso respecto a sus estándares y tendencia histórica.

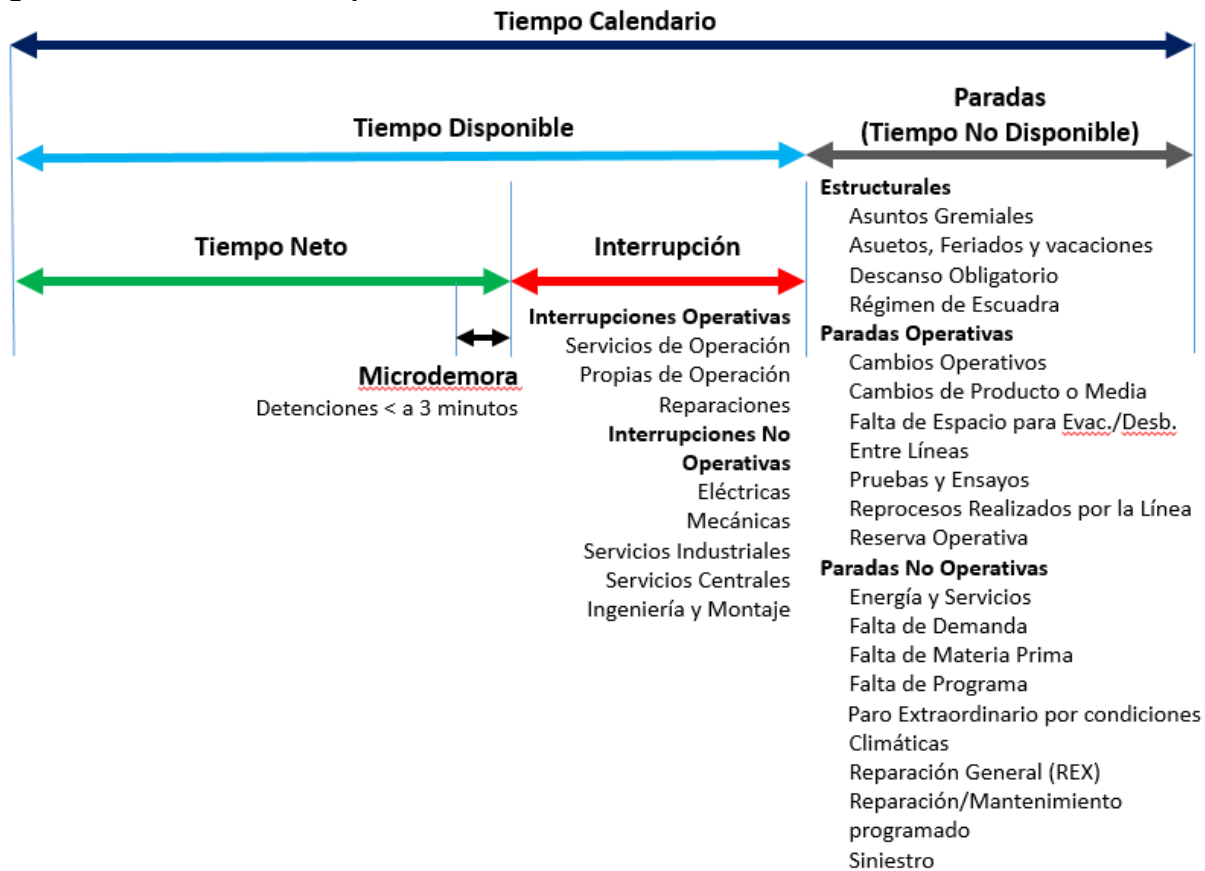
Herramientas del sistema de gestión de operaciones

Ternium cuenta con unas herramientas que facilitan la recolección y consolidación de información necesaria para la toma de decisiones operativas.

Estructura de tiempos de operación

Para conocer el comportamiento y llevar el control de las líneas productivas se ha implementado la estructura de tiempos de operación de la Figura 15.

Figura 15. Estructura de tiempos



Tomada de Ternium, Sistema de Gestión Operativa

- **Tiempo Calendario (TC):** Corresponde a las horas calendario (totales) del periodo de tiempo que se esté analizando. Por ejemplo, para un día el TC es 24 horas, para un mes el TC es cantidad de días del mes por 24 horas, etc.
- **Paradas:** Hace referencia al tiempo donde la línea se encuentra detenida por eventos programados.
- **Tiempo Disponible (TD):** Es el tiempo resultante de restar las paradas al tiempo calendario.
- **Interrupciones:** Es el tiempo en que la línea se encuentra detenida debido a eventos no programados y no previsibles.
- **Tiempo Neto:** Es el tiempo resultante de restar al TD las interrupciones.

Indicadores

Una vez definidos los tiempos, en un periodo de análisis, se calculan los indicadores que van a permitir reconocer las acciones correctivas necesarias de los procesos.

Utilizaciones

En función de los tiempos se definen los indicadores de utilización de una línea productiva.

Utilización Disponible (U. Disp)

La U. Disp. especifica el porcentaje, respecto al tiempo calendario, que la línea estuvo en condiciones de ser operada y la fórmula de cálculo es la siguiente.

$$U. Disp = \left(\frac{Tiempo Disponible}{Tiempo Calendario} \right) * 100$$

El parámetro de comparación de la utilización disponible es la utilización disponible programada, la cual se calcula utilizando las paradas (eventos programados) ya acordadas

Utilización Neta (U. Neta)

Especifica el porcentaje, respecto al tiempo disponible, que la línea se utilizó para generar producción y la fórmula de cálculo es la siguiente.

$$U. Neta = \frac{Tiempo Neto}{Tiempo Disponible} * 100$$

El parámetro de comparación de la utilización neta es la utilización neta estándar, la cual se calcula tomando los tres mejores resultados del año anterior.

Utilización Total (U. Total)

Especifica el porcentaje, respecto al tiempo calendario, que la línea se utilizó realmente para generar producción y la fórmula de cálculo es la siguiente.

$$U. Total = \frac{Tiempo Neto}{Tiempo Calendario} * 100$$

El parámetro de comparación de la utilización total es la utilización total objetivo, la cual se calcula como un producto de la utilización disponible programada y la utilización neta estándar.

Productividades

Se define productividad como la relación entre la producción y el tiempo empleado para generar dicha producción.

Productividad Disponible (P. Disp)

Relación expresada en toneladas por horas entre la producción y el tiempo disponible del periodo de análisis. La fórmula de cálculo es la siguiente.

$$P. Disp [t/hs] = \frac{Producción}{Tiempo Disponible}$$

El parámetro de comparación de la productividad disponible es la productividad programada, la cual es la relación en toneladas por horas entre la producción programada y el tiempo disponible.

Productividad Neta (P. Neta)

Relación expresada en toneladas por horas entre la producción y el tiempo neto del periodo de análisis. La fórmula de cálculo es la siguiente.

$$P. Neta = \frac{Producción}{Tiempo Neto}$$

El parámetro de comparación de la productividad neta es la productividad neta estándar, la cual se calcula tomando los tres mejores resultados del año anterior.

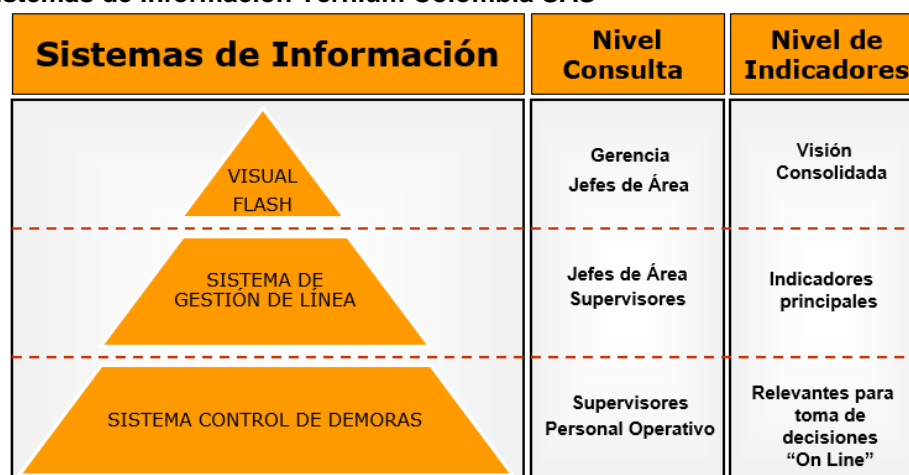
Con base en la argumentación planteada por D. Stamatis en 2010, se evidencia el control de indicadores como parte fundamental de un OEE⁴, gracias a ello se puede adquirir una razón porcentual en la cual se mide la eficiencia de la productividad de cada máquina. Por consiguiente, es válido afirmar que se tiene una ventaja métrica frente a otras teorías de medición de tiempos, de tal modo se pueden englobar todos los parámetros fundamentales de una línea productiva; para posteriormente analizar la eficiencia y capacidad de las máquinas. [9]

Sistemas de información

Los sistemas informáticos son la principal herramienta del sistema de gestión de operaciones. Estos brindan un ambiente de trabajo que permite, a los distintos niveles involucrados en la gestión operativa, acceder a toda la información relevante para el control de gestión. La Figura 16 da a conocer los 3 sistemas de información implementados por Ternium Colombia SAS junto con los diferentes niveles implicados.

⁴ OEE Eficiencia general de los equipos

Figura 16. Sistemas de información Ternium Colombia SAS



Adaptada por los autores, tomada de Ternium, Sistema de Gestión Operativa

Visual Flash

En la aplicación Visual Flash que se muestra en la Figura 17, se consolida la información productiva de las diferentes plantas a nivel nacional, brindando al nivel jerárquico superior la información necesaria para la toma de decisiones. La información necesaria para ser visualizada en esta herramienta es recopilada por el sistema de control de demoras.

Figura 17. Visual flash

Resumen Datos al 19/06/2018 Expandir/Contraer		Diario			Acumulado			Mensual al Cierre			
		Real	Prog Din	Desvio	Real	Prog Orig	Desvio	Proyec	Prog Orig	Desvio	PEA
Acería											
▶ Hornos Largo		669	668	1	10.485	11.306	-820	17.280	18.100	-820	18.100
▶ CC. Palanquilla		657	656	1	10.290	11.095	-805	16.958	17.763	-805	17.762
Laminación en Caliente											
▶ Laminación Largos		795	728	68	11.172	11.837	-664	17.645	18.309	-664	18.379
Transformados											

Tomada de Ternium, Sistema de Gestión Operativa

Sistema de gestión de línea

El sistema de gestión de línea que se muestra en la Figura 18, es la herramienta que consolida la información de performance de cada proceso productivo, así como variables de proceso para análisis de información deseado. Esta herramienta, también permite realizar el seguimiento de los indicadores y compararlos con sus estándares para así determinar las causas principales de los desvíos de producción. De igual forma que el visual flash, la información necesaria para ser visualizada aquí, es recopilada por el sistema de control de demoras.

Figura 18. Sistema de gestión de línea México

The screenshot shows the 'Reporte de Desvios' (Deviation Report) interface. It includes a navigation bar with tabs like 'Producción', 'Performance', 'Proceso', 'Programa', 'Mantenimiento', and 'Datos'. The main area displays a table with columns for 'Escuadra A Noche', 'Escuadra B Día', 'Escuadra C Tarde', 'Escuadra D', 'Real', 'Obj. / STD', and 'Desvio (Tn)'. The data is categorized into 'Producción' (Production) and 'Performance' (Performance) metrics.

		Escuadra A Noche	Escuadra B Día	Escuadra C Tarde	Escuadra D	Real	Obj. / STD	Desvio (Tn)
Producción								
Producción Total	Tn	541.6	555.0	-	-	1096.7	1429.6	-333.0
Varilla Recta	Tn	303.6	288.3	-	-	591.9	-	-
Varilla Doblada	Tn	238.0	266.7	-	-	504.7	-	-
Performance								
Productividad Neta	Tn/Hs	72.0	74.1	-	-	72.3	75.5	-48
Productividad Disponible	Tn/Hs	70.0	71.1	-	-	69.9	67.1	2.8
Eficiencia Neta	%	96.6	96.9	-	-	95.8	100.00	-
Eficiencia Disponible	%	105.6	104.8	-	-	104.2	-	-
Utilización Total	%	88.4	93.7	100.0	-	91.1	83.6	7.5
Utilización Disponible	%	91.0	97.5	100.0	-	94.2	94.0	3
Paradas Operativas	%	9.0	2.5	-	-	5.8	6.0	2.7
Paradas No Operativas	%	-	-	-	-	-	-	-
Paradas Estructurales	%	-	-	-	-	-	-	-
Utilización Neta	%	97.2	96.1	100.0	-	96.6	88.9	92

Tomada de Ternium, Sistema de Gestión Operativa

Sistema de control de demoras

El sistema de control de demoras que se muestra en la Figura 19, es la herramienta principal que permite administrar la cantidad de paradas e interrupciones para las líneas productivas, clasificando las causas que originaron una suspensión en la operación. Adicional a lo anterior, brinda información del estado actual de la estructura de tiempos y los indicadores de utilización.

Figura 19. Sistema de control de demoras

The screenshot shows the 'SCD' (Sistema de Control de Demoras) interface. It displays a detailed report for 'Laminador 2 - Reporte por Turno' for the date 03/11/2017. The interface includes a sidebar with a tree view of the plant structure, a main area with a timeline and a table of delays, and a top bar with navigation and user information.

ESTADO ACTUAL									
Estado de la Línea:		Trabajando		Potencia:		T. Calendario:		T. de Estado:	
						04:16:00		00:29:39	
DATOS TURNO SELECCIONADO									
Turno:	3	Inicio:	14:00:00	Fin:	22:00:00	Escudrar:	C		
Tiempo No Disponible* [h:m:s]:	00:00:00	Utilización Neta* (T.Neto / T.Disp.):	91,40		Interrupciones Detectadas:	2			
Tiempo Disponible* [h:m:s]:	04:15:52	Total de Micro Demoras (+) [h:m:s]:	00:03:30		Interrupciones Clasificadas:	0			
Tiempo Neto* [h:m:s]:	03:53:51	Total de Micro Demoras (-) [h:m:s]:	00:00:00		Total Demoras [h:m:s]:	00:22:01			
*Cálculos sin considerar reprocesos									
DEMORAS TURNO SELECCIONADO									
Det	Hora Inicio	Hora Fin	Duración	Código Ternium	Concepto	Subconcepto	Observación	Equipo	
	17:31:47	17:46:21	00:14:34	1120	SIN JUSTIFICAR	SIN JUSTIFICAR		SIN DEFINIR	
	15:19:23	15:26:50	00:07:27	1120	SIN JUSTIFICAR	SIN JUSTIFICAR		SIN DEFINIR	

Tomada de Ternium, Sistema de Gestión Operativa

Esta herramienta se convierte en el principal sistema para el suministro de información a los niveles superiores de la pirámide de la Figura 16.

Vale la pena aclarar que este sistema se encuentra implementado en las plantas de las ciudades de Manizales, Cali y Barranquilla. Teniendo en cuenta que el sistema de control

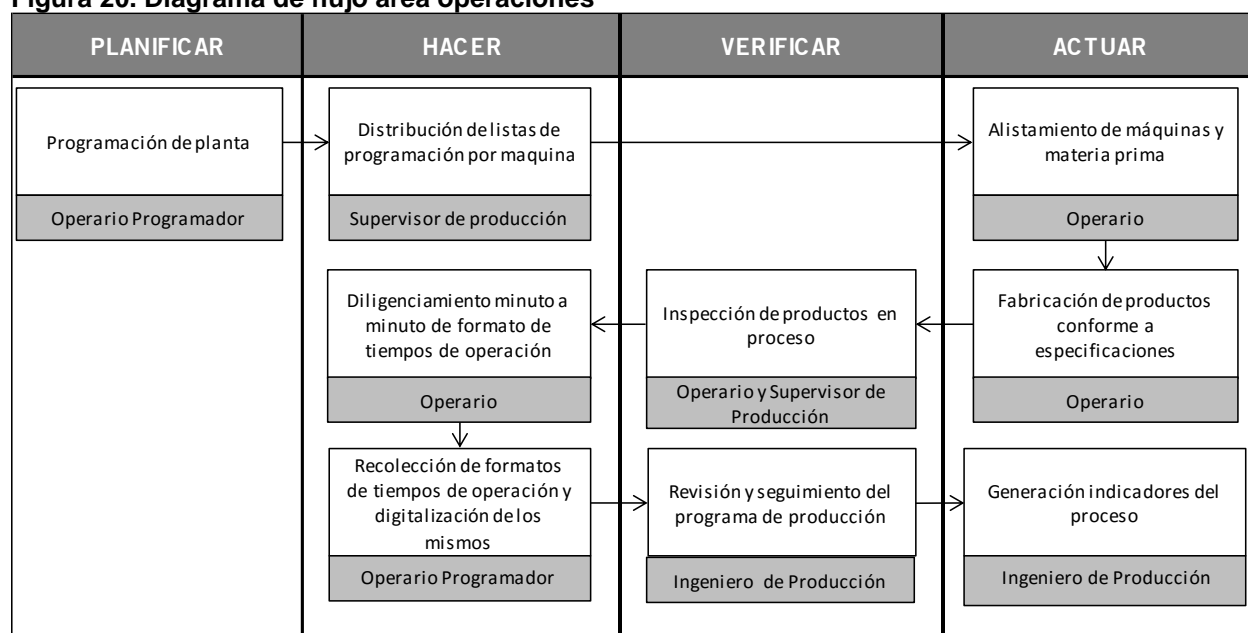
de demoras de planta Manizales es el único que cuenta con un nivel automático con la capacidad de determinar por si solo cuando la línea se encuentra operativa y cuando no. Esto debido a que las máquinas cuentan con equipos de automatización, sensores e instrumentación para la recolección de datos de proceso que permiten determinar los estados de máquina. Caso contrario sucede en planta Cali y Barranquilla ya que la información del estado de máquina es recopilada de manera manual y es ingresada al sistema de control de demoras de la misma forma.

Si bien planta Itagüí no hace uso de la herramienta de sistema de control de demoras, si cuenta con un procedimiento para la recopilación de datos del estado operativo de las máquinas de proceso. Este procedimiento es realizado de la misma forma que se ejecuta en planta Cali y Barranquilla (de forma manual). Esta información se utiliza para poder gestionar las líneas productivas de figuración y customizados diariamente. A continuación, se muestra el procedimiento realizado en planta Itagüí para la recolección de información de los estados operativos de máquinas.

Sistema de control de demoras planta Itagüí

Antes de conocer la forma de recolección de datos de los estados operativos de máquina, es importante conocer el ciclo operativo que se muestra en la Figura 20, para la producción de un pedido recibido y el personal involucrado en el proceso productivo.

Figura 20. Diagrama de flujo área operaciones



Fuente: los autores

Inicialmente el personal con el cargo de operario programador se encarga de realizar la programación de planta, según la información entregada por el área de planificación y la experiencia obtenida en la correcta asignación de los pedidos a fabricar en cada máquina. Una vez realizada la lista de programación, esta se distribuye a los operarios quienes realizan el alistamiento de las máquinas y materia prima necesaria para realizar

la fabricación de productos según las especificaciones emitidas. Durante el proceso de fabricación, los operarios deben registrar de manera manual en el formato de la Figura 21 todas las paradas de máquina teniendo en cuenta la duración y causas de estas. Cuando el material se encuentre terminado, se pasa al estado de verificación, en el cual los operarios en compañía de sus supervisores inspeccionan el material y se cercioran del cumplimiento de los parámetros de fabricación. Finalizando el turno de trabajo de los operarios de máquina, el formato de la Figura 21 es recolectado por el operario programador para su posterior migración a un formato digital utilizando el formulario creado en Excel que se muestra en la Figura 22, generando así, una base de datos de paradas. Por último, el ingeniero de producción analiza la información de los tiempos de operación y la producción de cada máquina, para así generar los indicadores de las líneas productivas para el seguimiento y verificación de cumplimiento de objetivos, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos siempre serán del día anterior.

Figura 21. Formato de tiempos

		FORMATO REGISTRO DE TIEMPO DE PAROS			
FECHA:		TURNO		MAQUINA	
CODIGO PARADA	HORA INICIO	HORA FINAL	OBSERVACIONES		

Fuente: los autores

Para el diligenciamiento del formato de la Figura 21, cada operario debe tener claridad y conocimiento de la estructura de tiempos de la Figura 15 anteriormente mencionada y explicada.

Figura 22. Digitalización de formato de tiempos

Registros de Tiempos Figuracion Itagui

Proceso: Máquina:

	Fecha Inicio	Hora Inicio	Fecha Fin	Hora Fin	Nombre Operador	Prod. Kg/Und	Codigo SAP	Descripción Referencia	Codigo Tiempo	Total (min)	Causa Raíz	Observacion Causa
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

Fuente: los autores

Desventajas del sistema de control de demoras actual

Luego de observar durante dos semanas el proceso descrito anteriormente y contar con el apoyo del personal directamente involucrado, se identifican las siguientes desventajas en el sistema de control de demoras actual.

- Se presentan errores en la digitalización de la información, debido a que para el operario programador no siempre es fácil entender el diligenciamiento de los formatos con letra a mano alzada de los operarios de máquina.
- La información disponible para análisis siempre es del día anterior, debido a que la digitalización de la información la realiza el operario programador un día después de haber recogido el reporte de tiempos de las diferentes máquinas y turnos de la planta.
- La información reportada por los operarios de máquina no es precisa y en ocasiones incompleta. Lo anterior se debe a que en un 90% de las veces, usan múltiplos de 5 para reportar la duración de los tiempos en las que la máquina no produce. Adicionalmente actividades tales como hidratación, pausas activas, visitas al baño, ajustes de máquina, orden y aseo del puesto de trabajo, no son plasmadas en el formato de tiempos. Lo que genera incertidumbre en los resultados de los indicadores que se alimentan de dicha información.
- Se presentan dos escenarios, el primero de ellos cuando el operario no comprende que el indicador de su productividad se alimenta del tiempo disponible y el tiempo neto de operación, los cuales son el resultado del tiempo calendario

menos los tiempos reportados por él. El segundo, es el caso contrario al expuesto anteriormente y se da cuando el operario entiende muy bien que entre más tiempos reporte su indicador de productividad aumentará, lo cual positivo para su performance operativo.

De acuerdo con lo descrito anteriormente se crea la necesidad de medir de forma correcta, precisa y real, para poder identificar, mejorar y controlar toda oportunidad de mejora en los procesos en pro de la producción y el cumplimiento de metas propuestas. Esto se logra implementando sistemas automáticos de producción enfocados en esta ocasión en la detección automática de demoras en las máquinas.

Como plan piloto la implementación se realizó en la máquina estribadora Twinmaster 16III, en donde se realizaron pruebas, la puesta a punto y se analizaron los resultados obtenidos para confirmar la viabilidad del proyecto. Por ende, se ha tomó la decisión de abordar el equipo que más aporta a la producción. La Tabla 3 muestra el porcentaje de producción de cada máquina en la línea de figuración delgada, donde se nota que la máquina seleccionada es la que más contribuye a la producción.

Tabla 3. Aporte de producción de máquinas estribadoras

MÁQUINA	APORTE A LA PRODUCCIÓN
FOCUS 12	16%
STAFF 12S	10%
TWINMASTER 12S-03	15%
TWINMASTER 12S-05	13%
TWINMASTER 16III	21%
TWINMASTER 16II	25%

Fuente: los autores

Con la información anterior se selecciona la estribadora TWINMASTER 16II para la implementación del sistema de detección automático de demoras.

Tras el escenario planteado y con la selección clara de la máquina en donde se realizó la implementación del sistema automático de demoras, en el capítulo 2 se aborda un desarrollo técnico específico que se ajusta a resolver las necesidades identificadas y aporta al sistema de gestión operativo datos confiables. Para ello se planteó una arquitectura tecnológica que comprende una capa física para la adquisición de las señales y una aplicación de software para la interpretación y visualización de la información.

2. IDENTIFICACIÓN E INTERVENCIÓN DE LA CAPA FÍSICA DE COMUNICACIONES ENTRE EL CONTROLADOR Y EL PANEL DE OPERACIONES DE LA MÁQUINA

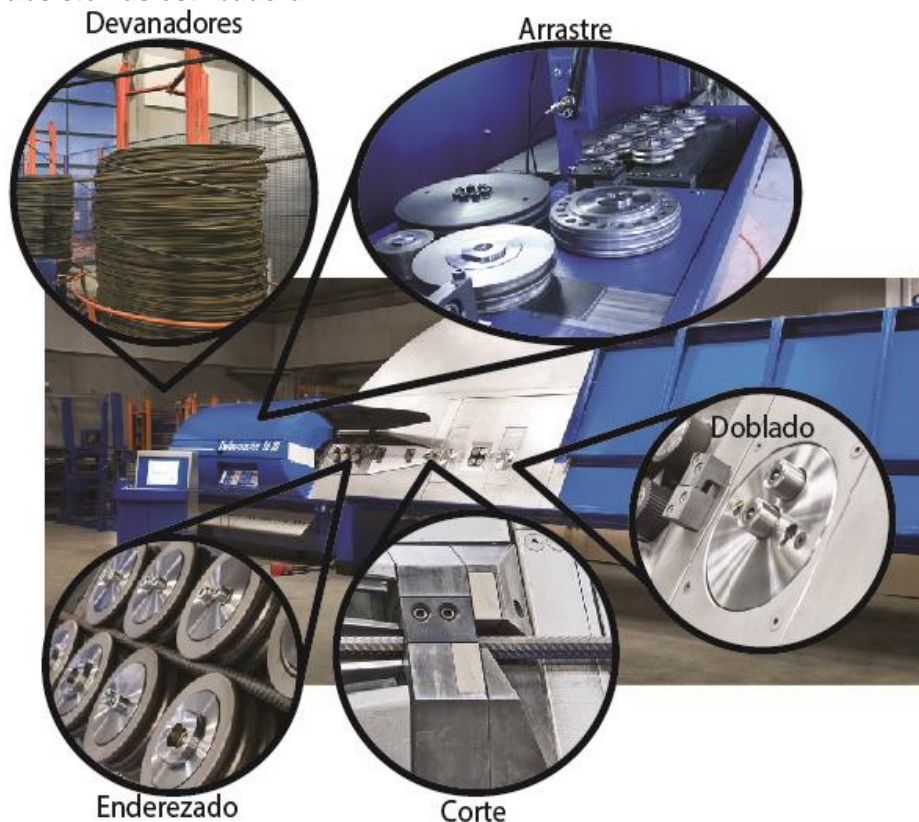
En este capítulo se aborda una secuencia lógica para la correcta identificación e intervención de la capa física de comunicaciones entre el controlador y el panel de operaciones de la máquina Twinmaster 16III.

2.1 ESTRIBADORA TWINMASTER 16II

Como se indicó en el capítulo anterior la implementación del sistema de demoras automático se realizó en primera instancia en la máquina estribadora TWINMASTER 16III de la marca STEMA PEDAX. Por lo anterior se procederá a describir el funcionamiento de esta de forma general y se entrará a conocer su sistema de control de manera más específica, puesto que, es este el sistema que se tomó como objeto para conseguir el objetivo propuesto.

La máquina estribadora está compuesta por una serie de grupos mecánicos, un sistema hidráulico y su sistema eléctrico correspondiente. El primer grupo mecánico corresponde al sistema de devanadores (externo al cuerpo de la máquina) en donde los rollos (chipas) de alambón corrugado son ubicados como materia prima para su posterior transformación a producto terminado. El grupo siguiente (interno al grupo de la máquina), es el dispositivo de arrastre conformado por una serie de rodillos que reciben el alambón y es el primer encargado de halar la materia prima para luego llevarla al grupo de rodillos del sistema de enderezado, que como su nombre lo indica se encargan de enderezar el alambón que viene con curvaturas que afectan su figuración. Los dos últimos grupos corresponden al sistema de corte y doblado. En la Figura 23 se muestran los subsistemas que componen la máquina estribadora.

Figura 23. Subsistemas estribadora



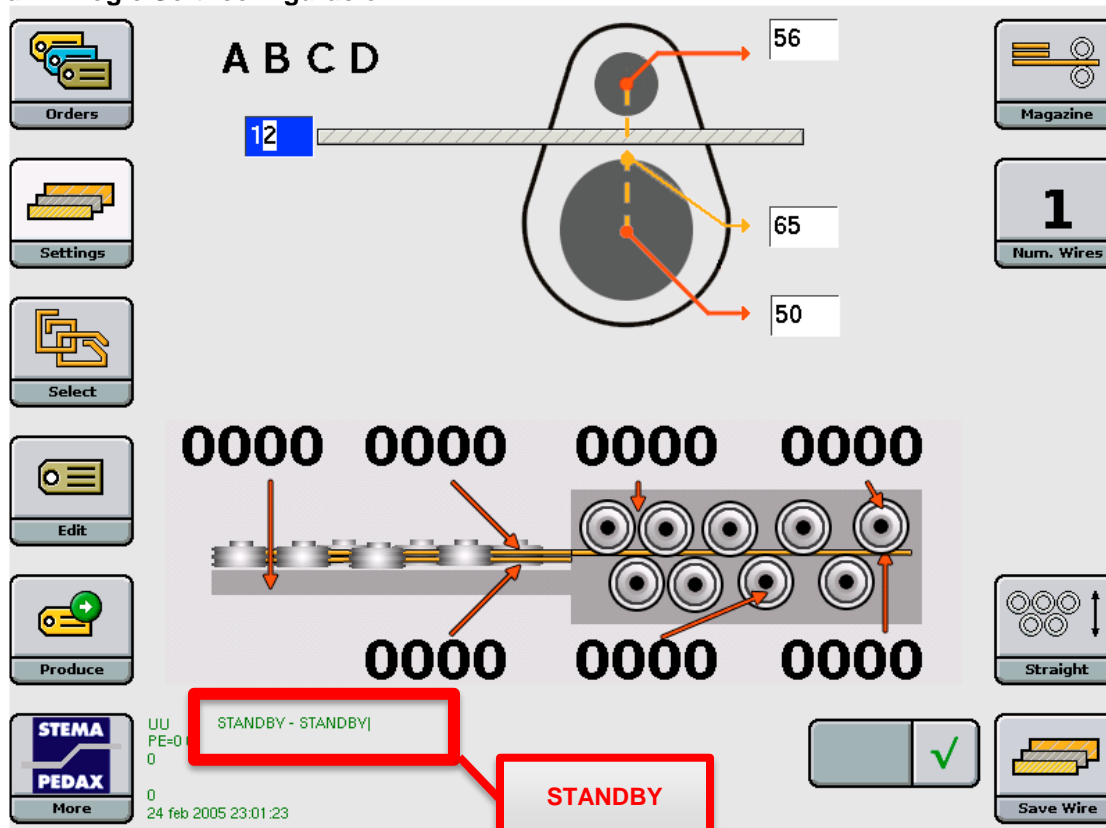
Fuente: los autores

Adicionalmente la máquina dispone de un sistema hidráulico para el movimiento de todos los dispositivos necesarios para las operaciones de devanado, arrastre, enderezado, corte y doblado, cuenta con un sistema eléctrico de potencia, un sistema electrónico para la instrumentación y el control, y un interfaz humano máquina de panel de operación para la programación y configuración de las figuras a producir y ajustes de máquina.

2.1.1 Panel de operaciones

El panel de operación tiene un computador de mesa con puerto serial y ejecuta un software propietario de STEMA PEDAX con el nombre *Logic Soft* desarrollado bajo sistema operativo Linux. Este software es la interfaz gráfica con la que el operario puede configurar los productos a trabajar. A continuación, se mostrarán algunas de las pantallas en las cuáles el operario debe navegar para la configuración mencionada.

Figura 24. Logic Soft: configuración

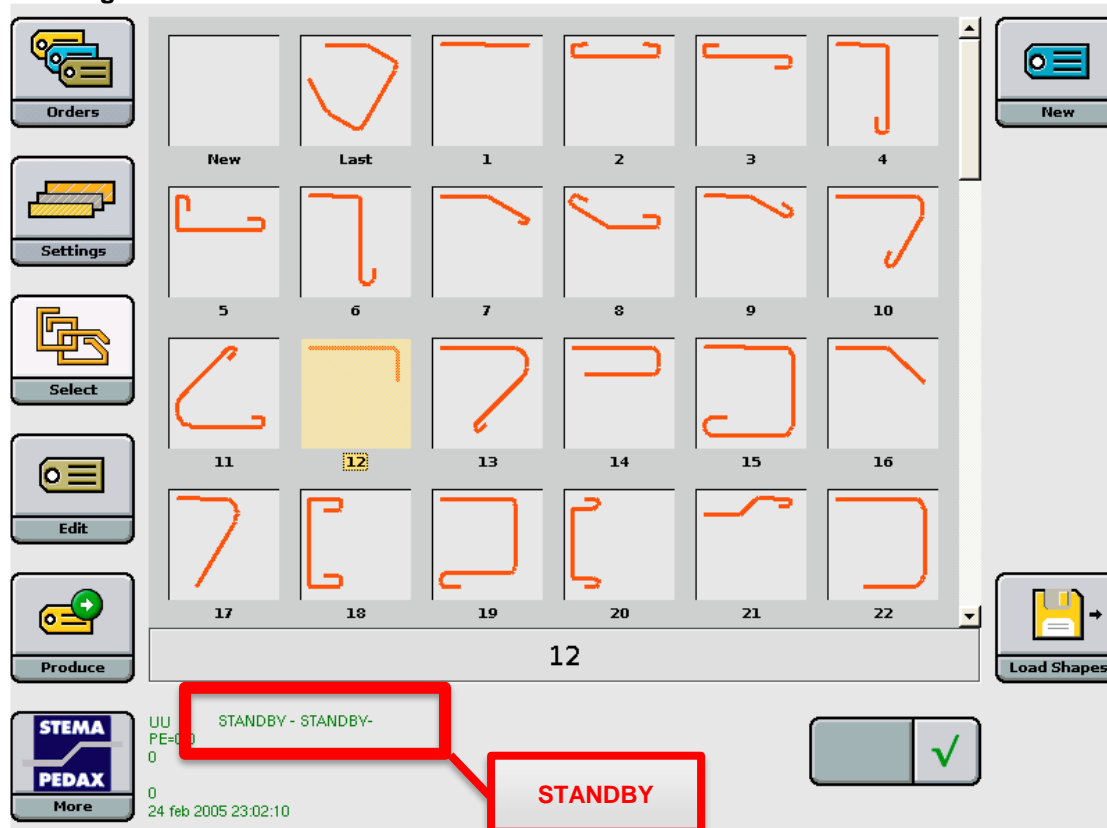


Tomada de STEMA PEDAX, *Manual máquina Estribadora TWINMASTER 16 II*

La Figura 24 es la pantalla de configuración en donde el operario realiza lo siguiente: ingresar el diámetro del alambre con el que se va a trabajar, el diámetro del cilindro de presión, ingresar la distancia de la mitad del brazo de doblado, el diámetro del mandril de doblado y visualizar la posición de los diferentes rodillos del sistema de enderezado. Por último, en la parte inferior de todas las pantallas del software se puede visualizar el estado operativo de la máquina (en este caso es *STANDBY*).

El software *Logic Soft* está equipado con diversos tipos de figuras predefinidas que simplifican la configuración de máquina por lo que el operario (como se muestra en la Figura 25) podrá seleccionar la requerida.

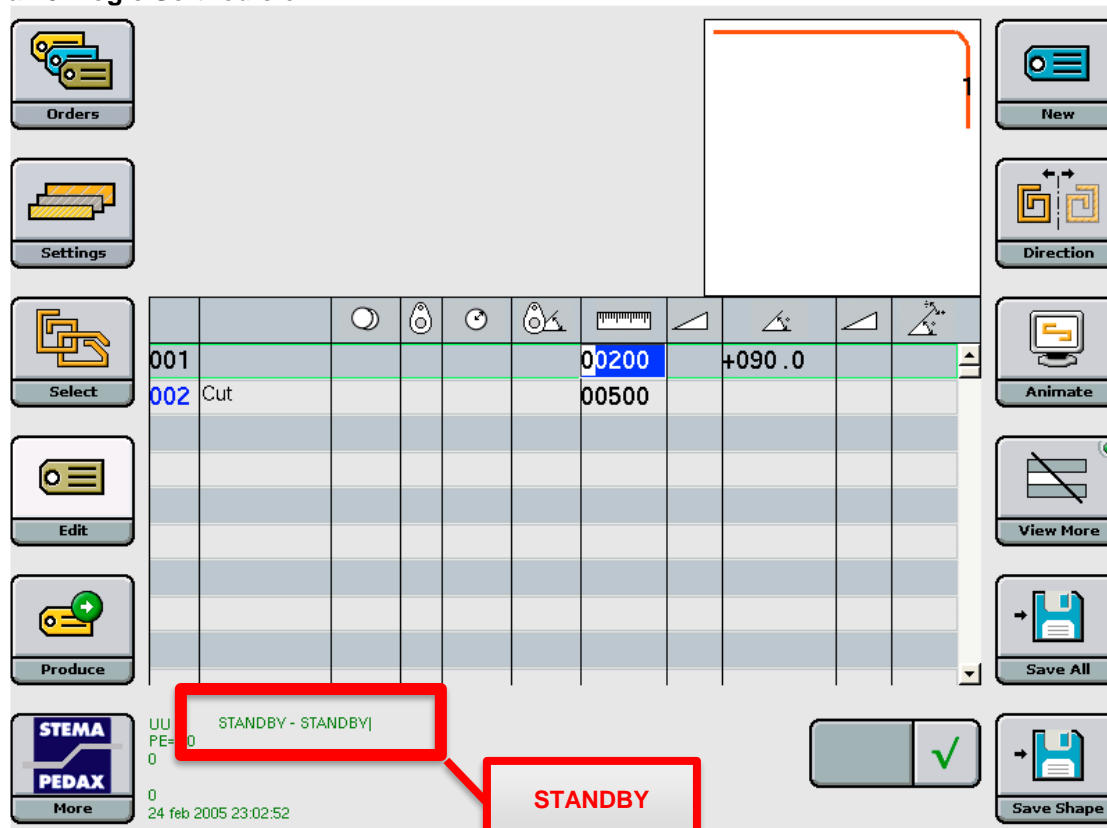
Figura 25 Logic Soft: selección



Tomada de STEMA PEDAX, *Manual máquina Estribadora TWINMASTER 16 II*

Luego de seleccionar la figura más parecida a la requerida, el operario pasa a la pantalla de la Figura 26, para corregir las longitudes y ángulos.

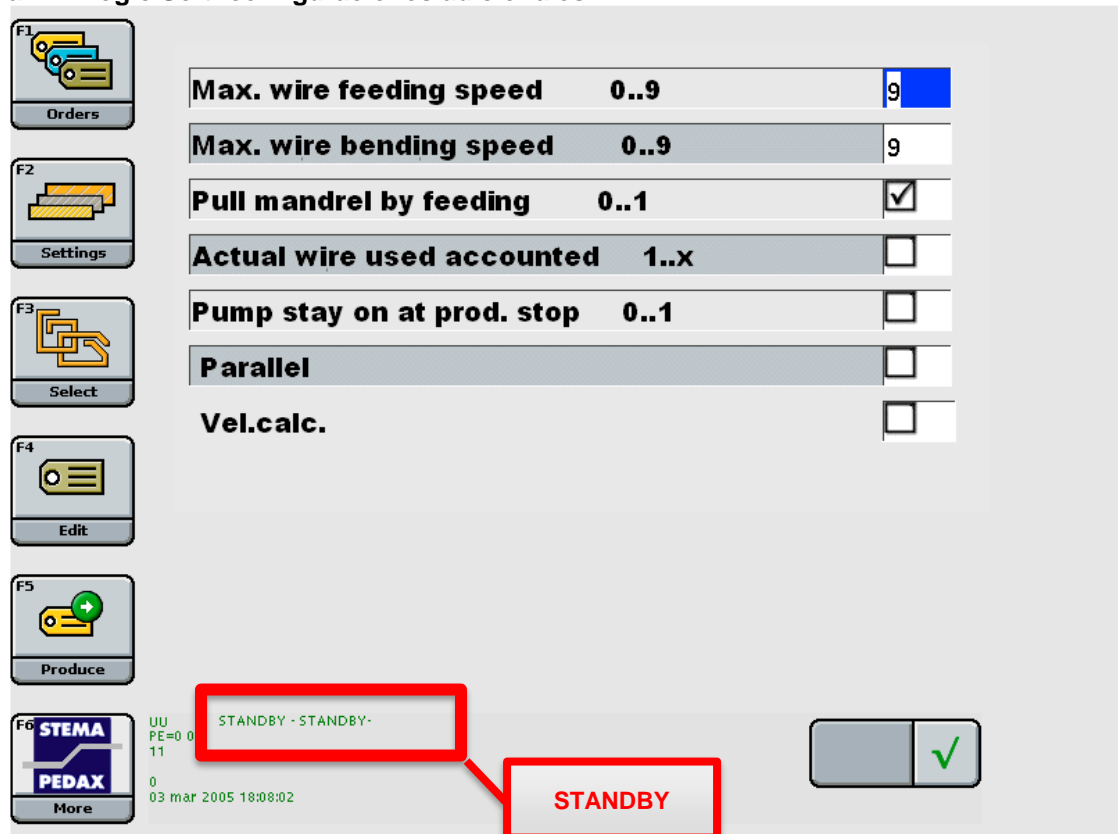
Figura 26. Logic Soft: edición



Tomada de STEMA PEDAX, *Manual máquina Estribadora TWINMASTER 16 II*

La pantalla de la Figura 27 permite al operario realizar varias configuraciones de producción para controlar los aspectos más generales, los cuáles raramente se modifican, tales como la velocidad máxima de arrastre y la velocidad máxima de doblado.

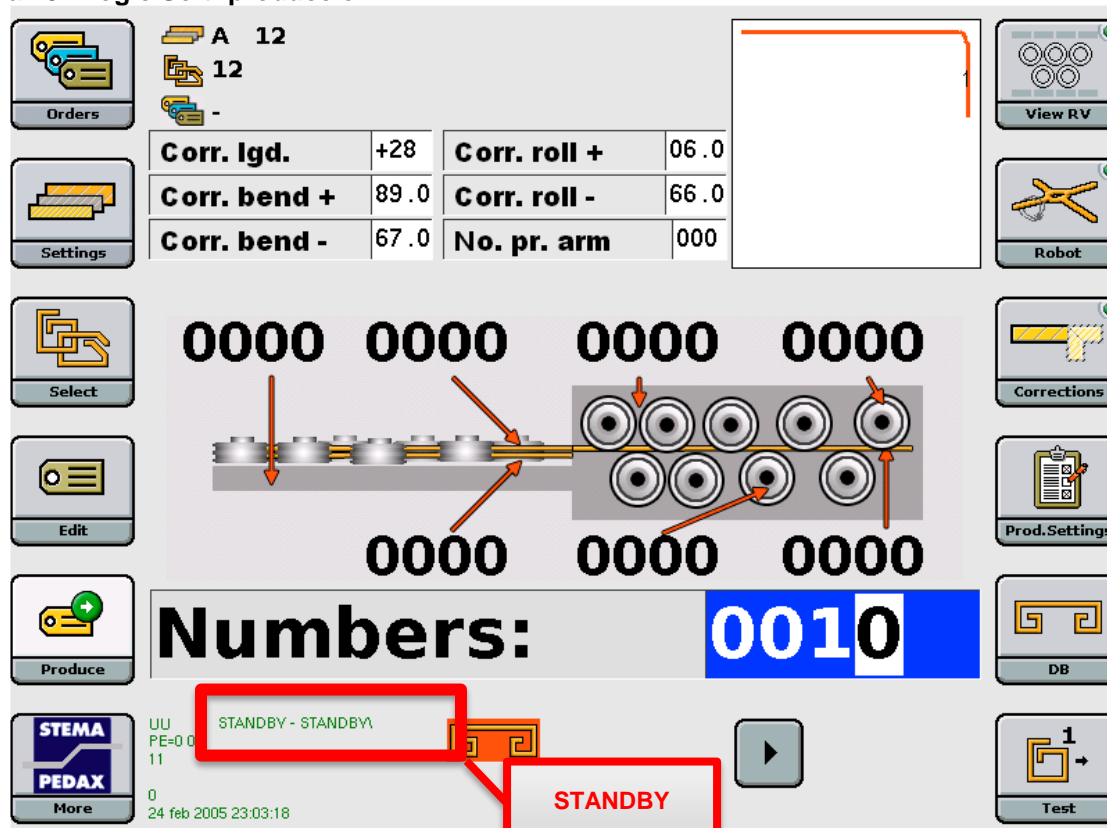
Figura 27. Logic Soft: configuraciones adicionales



Tomada de STEMA PEDAX, *Manual máquina Estribadora TWINMASTER 16 II*

La Figura 28 muestra la pantalla a la que el operario ingresa una vez ha terminado la configuración de la figura, aquí se introduce la cantidad de estribos a producir y la misma muestra la posición de los diferentes rodillos del sistema de enderezado. Por último, desde esta pantalla el operario puede cambiar el estado operativo de la máquina para iniciar la producción de la figura configurada con las cantidades ingresadas

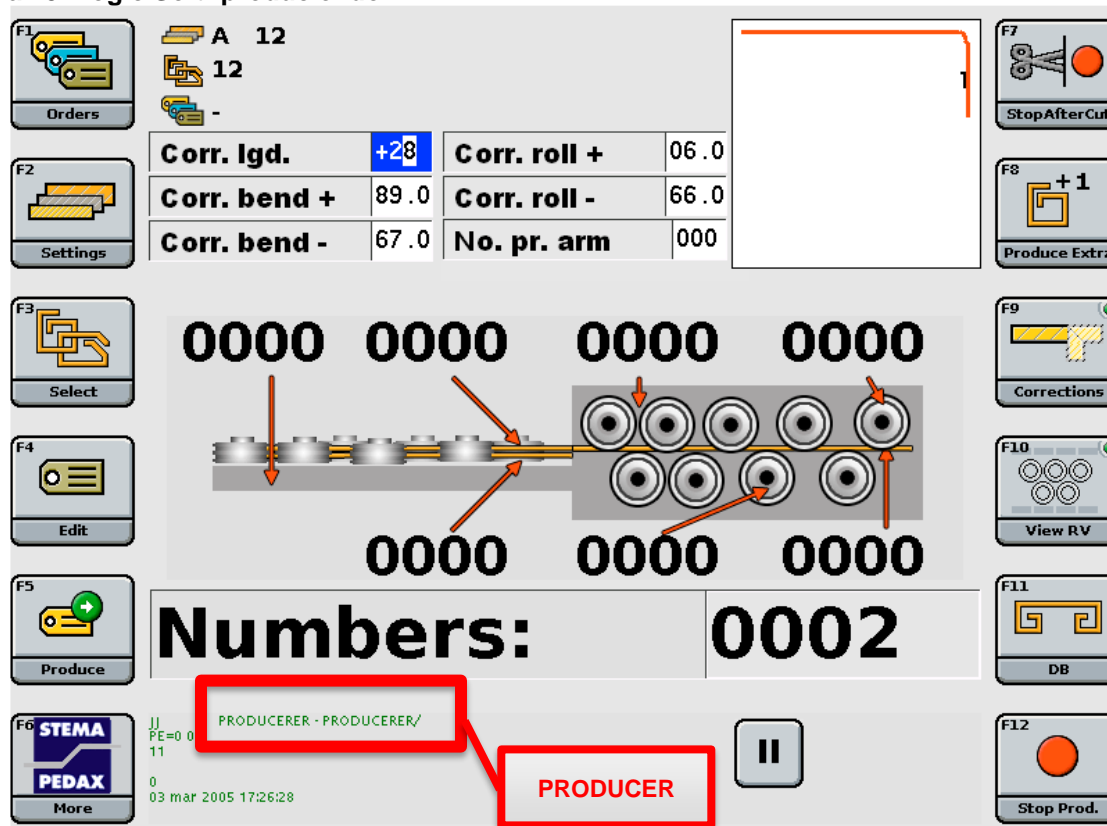
Figura 28. Logic Soft: producción



Tomada de STEMA PEDAX, *Manual máquina Estribadora TWINMASTER 16 II*

Luego del inicio de la producción realizado por el operario, aparece la pantalla de la Figura 29, aquí se visualiza la figura seleccionada para producir, cantidad de estribos que se han producido, la posición de los diferentes rodillos del sistema de enderezado y el estado operativo de la máquina. En esta ocasión y como la máquina se encuentra trabajando, el estado visualizado es PRODUCER.

Figura 29. Logic Soft: produciendo

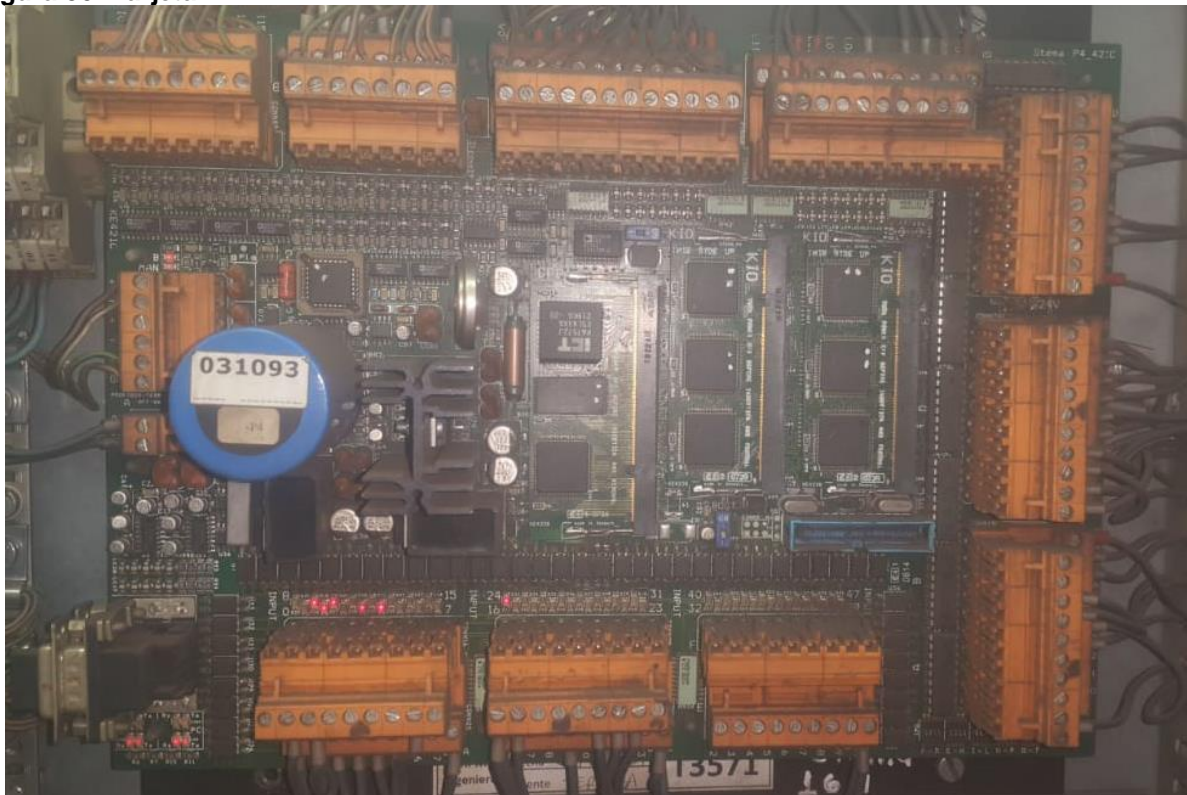


Tomada de STEMA PEDAX, *Manual máquina Estribadora TWINMASTER 16 II*

2.2 SISTEMA ELECTRÓNICO DE COMUNICACIONES DE LA MÁQUINA ESTRIBADORA TWINMASTER 16III

La máquina estribadora cuenta con una tarjeta llamada P4, la cual es una tarjeta electrónica como se muestra en la Figura 30 con puertos para comunicación serial, conexiones de entradas y salidas digitales, entradas y salidas análogas y entradas especiales para señales de encoder. Esta tarjeta controla todas las operaciones de máquina para la correcta producción de los estribos y a su vez mantiene una comunicación constante con el software *Logic Soft* a través de un protocolo de comunicación propietario de STEMA PEDAX bajo norma física en el estándar internacional RS232C.

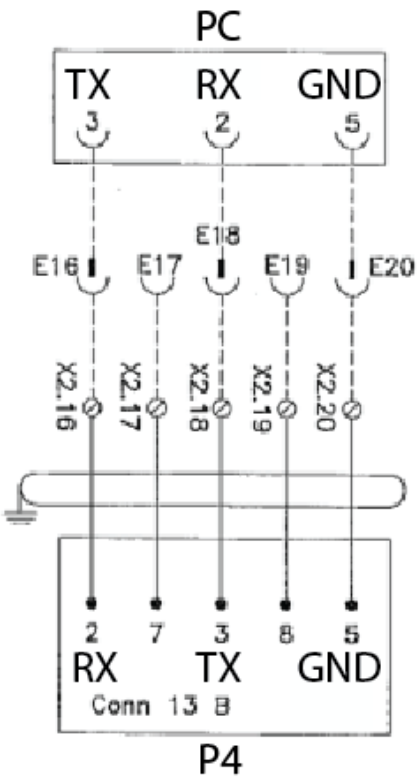
Figura 30. Tarjeta P4



Fuente: los autores

Para la conexión de los dispositivos se utilizan conectores DB9 en ambos lados siguiendo el esquema de conexión de la Figura 31. Esta transmisión de información es *Full Duplex*, lo que permite transmitir en ambas direcciones haciendo uso de dos canales (TX1-RX2 y TX2-RX1).

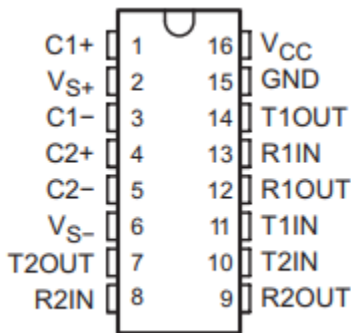
Figura 31. Esquema de conexión entre tarjeta electrónica p4 y computador con software Logic Soft



Tomada de STEMA PEDAX, *Electrical System*

De acuerdo a lo establecido en el modelo OSI (*Open Source Interconnection*) para las comunicaciones industriales [11] la tarjeta P4 cuenta con el circuito integrado MAX232 (ver Figura 32) el cual convierte niveles TTL (*Transistor-Transistor logic*) a los niveles de las líneas de un puerto serie y viceversa, esto para lograr la comunicación entre el computador de operaciones y la tarjeta de control electrónica. Es decir, el MAX232 genera y recibe los impulsos eléctricos de la comunicación serial.

Figura 32. Circuito integrado max232



Tomada de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>.

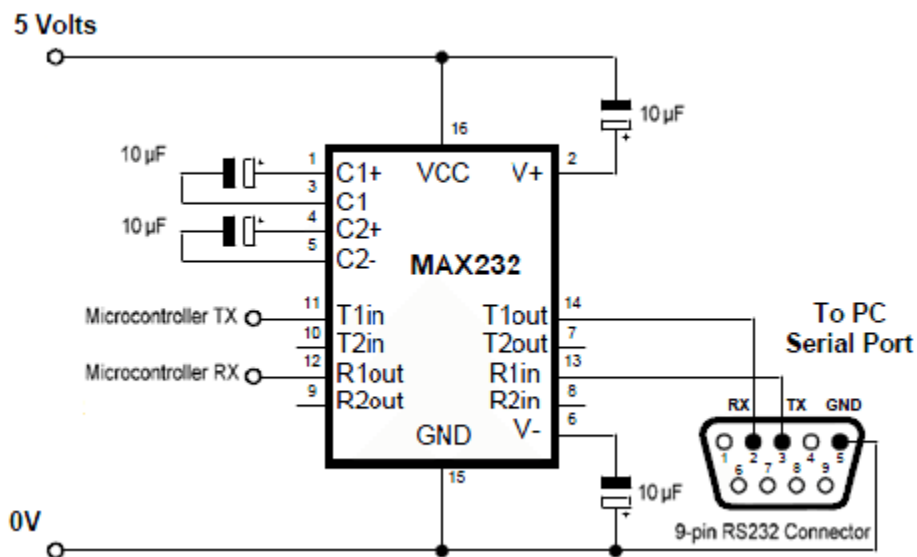
Tabla 4. Descripción de pines de circuito integrado max232

PIN		TIPO	DESCRIPCIÓN
Nombre	No.		
C1+	1	-	Conductor positivo del condensador C1
VS+	2	O	Voltaje positivo para metodo bomba de carga
C1-	3	-	Conductor negativo del condensador C1
C2+	4	-	Conductor positivo del condensador C2
C2-	5	-	Conductor negativo del condensador C2
VS-	6	O	Voltaje negativo para metodo bomba de carga
T2OUT,T1OUT	7,14	O	Línea de transmisión RS232
R2IN,R1IN	8,13		Línea de recepción RS232
R2OUT,R1OUT	9,12	O	Línea de transmisión para nivel TTL
T2IN,T1IN	10,11		Línea de recepción para nivel TTL
GND	15	-	Tierra
Vcc	16	-	Voltaje de alimentación externo conectado a 5V DC

Fuente: los autores

De acuerdo a la identificación realizada con la ayuda de la Tabla 4 , el esquema utilizando por STEMA PEDAX para la implementación del MAX232 es el representado en la Figura 33.

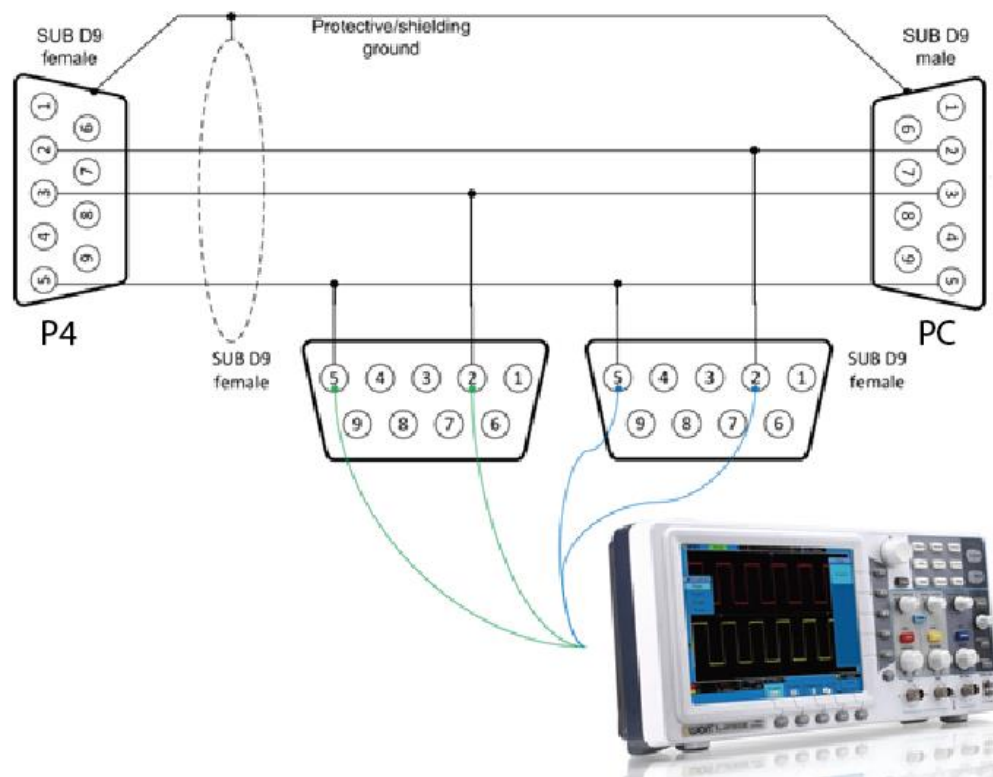
Figura 33. Circuito electrónico utilizado por Stema Pedax para la implementación del MAX232



Fuente: los autores

Adicional a la identificación física realizada, se estudiaron las características eléctricas de las señales que viajan por el cableado de comunicaciones para poder determinar la velocidad de transmisión de datos, así como la cantidad de *bits* por carácter. Para lograr lo anterior, se ha instaló un osciloscopio como se muestra en la Figura 34 y se realizó la conexión de un canal a las líneas de transmisión de datos y tierra de manera paralela a la conexión establecida entre P4 y PC para no interferir en la comunicación.

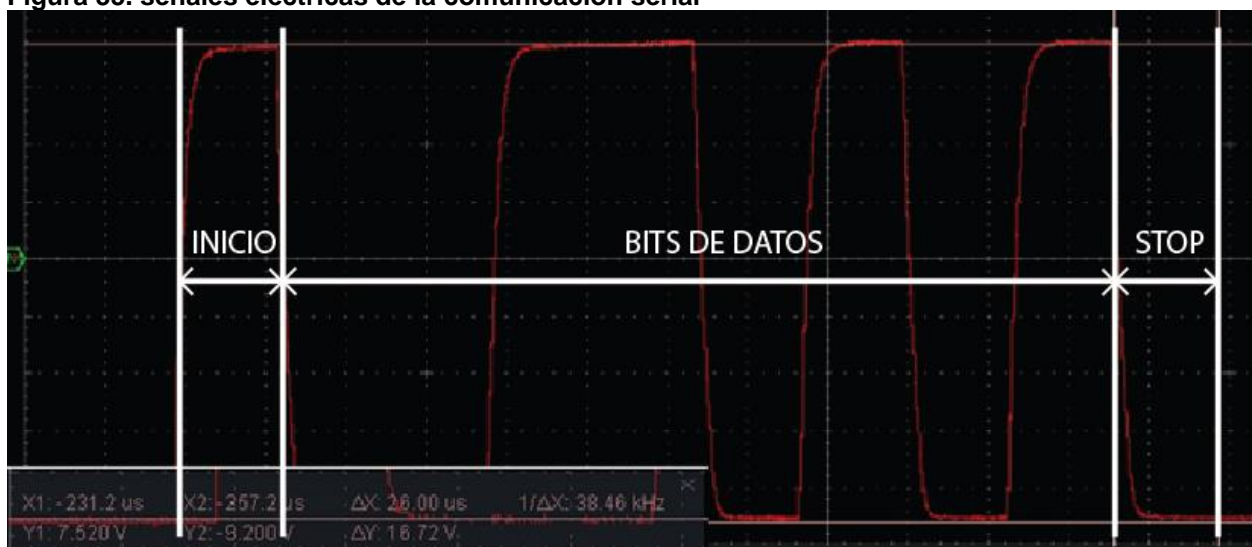
Figura 34. Conexión osciloscopio para visualización de señales eléctricas de comunicación serial



Fuente: los autores

Del estudio realizado se llegó a la gráfica mostrada en la pantalla de un osciloscopio que se muestra en la Figura 35.

Figura 35. señales eléctricas de la comunicación serial



Fuente: los autores

De la Figura 35 se logró identificar 10 bits por cada carácter enviado, los cuales corresponden a un bit de inicio que todo carácter debe contener, ocho bits de datos, un solo bit de parada y sin bits de paridad. Lo que indica la configuración de los puertos de comunicación del dispositivo que se quiera agregar a la conexión existente. Sin embargo, hace falta conocer la velocidad de transmisión de datos. Esto se puede determinar conociendo la velocidad de cada bit transmitido, la cual es aproximadamente de 26 microsegundos según medición realizada con ayuda de las herramientas del osciloscopio utilizado. Con la información anterior se obtiene lo siguiente.

$$\frac{1 \text{ bit}}{\text{Velocidad de transmisión}} = \text{tiempo de un bit} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\frac{1 \text{ bit}}{\text{tiempo de un bit}} = \text{Velocidad de transmisión} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\frac{1 \text{ bit}}{26 \mu\text{s}} = \text{Velocidad de transmisión}$$

$$\text{Velocidad de transmisión} \cong 38400 \frac{\text{bits}}{\text{s}}$$

De acuerdo con las características de la transmisión de datos ya identificadas, se determina que los dispositivos que se deseen conectar a la comunicación existente deben configurarse de la siguiente manera:

Velocidad de transmisión: 38400 bps

Bits de datos: 8

Bits de parada: 1

Paridad: Ninguno

3. COMPORTAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA TRAMA DE COMUNICACIONES ENTRE EL CONTROLADOR Y EL PANEL DE OPERACIONES DE LA MÁQUINA

Este capítulo se centra en la forma utilizada para lograr la adquisición de datos, así como el análisis realizado de los datos obtenidos.

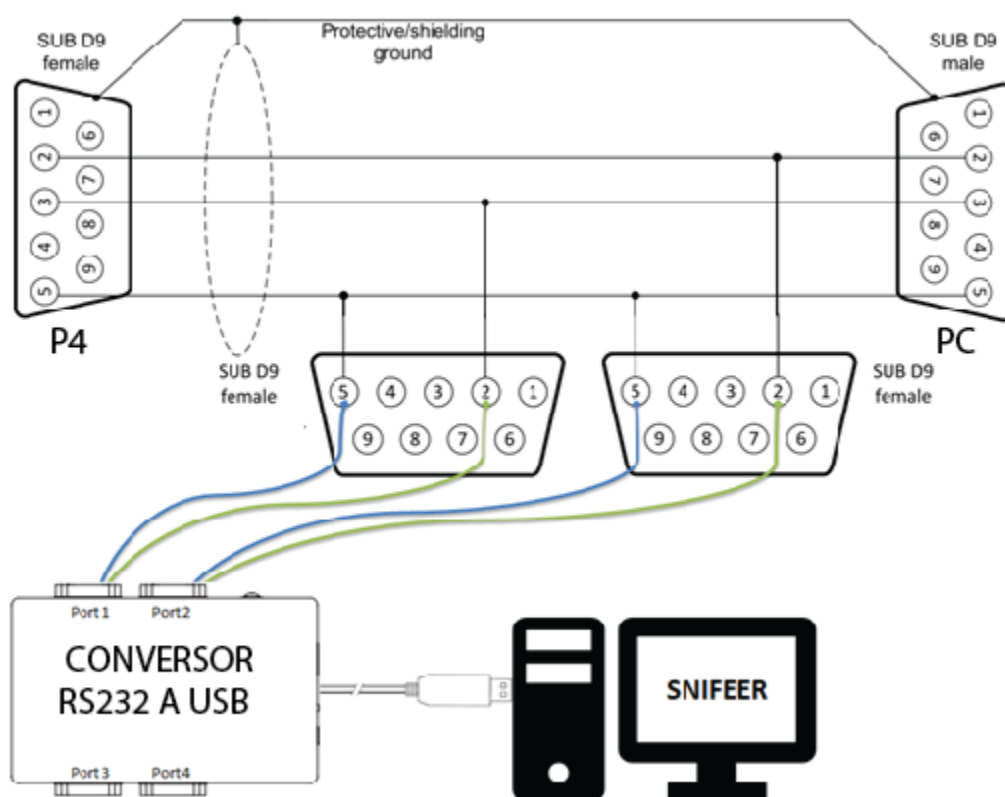
3.1 CAPTURA Y ANÁLISIS DE TRAMAS DE COMUNICACIÓN

Luego de identificar las características de la comunicación actual, se procede a adquirir los datos transmitidos entre los dispositivos, pero sin alterar la información que esta contiene. Lo anterior con el objetivo de poder “escuchar”, identificar y aprender el protocolo utilizado entre la tarjeta P4 y *Logic Soft* que de seguro contiene información tal como el estado lógico de entradas y salidas tanto digitales como analógicas, el estado operativo de la máquina, producto configurado para producción, cantidades producidas, etc. Resaltando que para este proyecto lo principal es poder reconocer cuándo la máquina se encuentre produciendo o está detenida, ya que este dato es el requerido para la implementación del sistema automático de demoras.

Captura de tramas de comunicación P4 – PC

Para la adquisición de la trama generada entre la P4 y el PC del panel de operaciones se utiliza la misma metodología implementada para la identificación de las características de comunicación. Sin embargo, el dispositivo final de adquisición de datos cambia (ver **Figura 36**), es decir, se ha realizado una conexión paralela a las líneas de transmisión de datos (TX) y tierra (GND) de la P4 y la PC. Estas líneas se han llevado a los pines de recepción de datos (RX) de dos puertos seriales de un conversor RS232 a USB de cuatro puertos. Lo anterior para poder “escuchar” de manera independiente lo que la P4 le transmite a la PC y lo que el PC le transmite a la P4. Por último, la salida USB del conversor de cuatro puertos se conecta a un computador.

Figura 36. Diagrama de instalación del sniffer

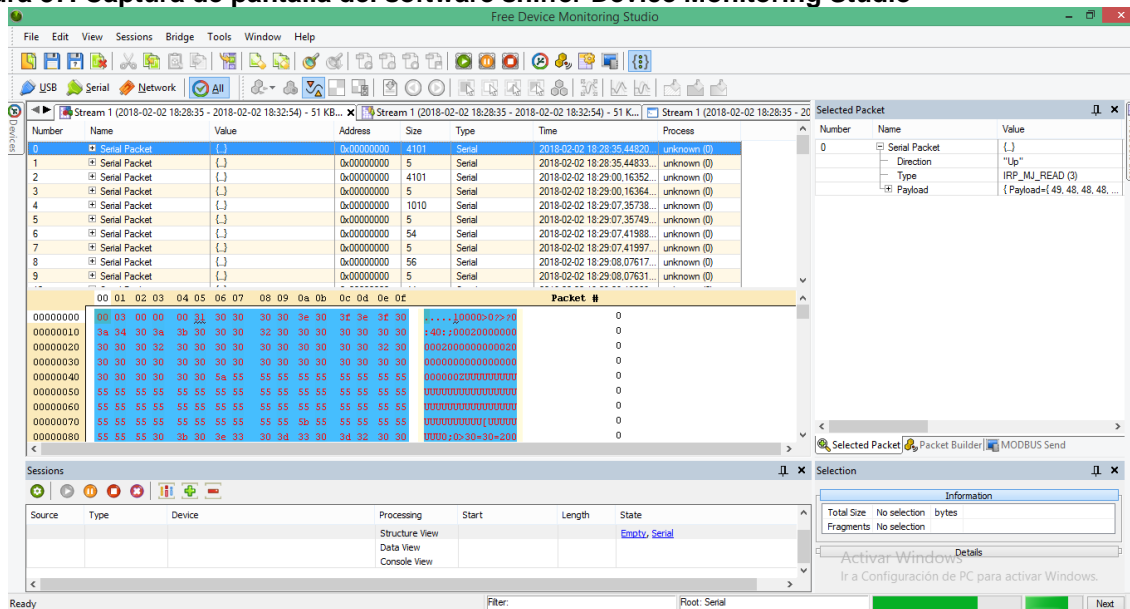


Fuente: los autores

Para la visualización de los datos de comunicación entrantes al computador se hace uso de un sniffer (ver Figura 36) que como lo indica [13] es un software que tiene la capacidad de recolectar datos con el objetivo de poder obtener la información y los patrones de la transmisión que se desee analizar.

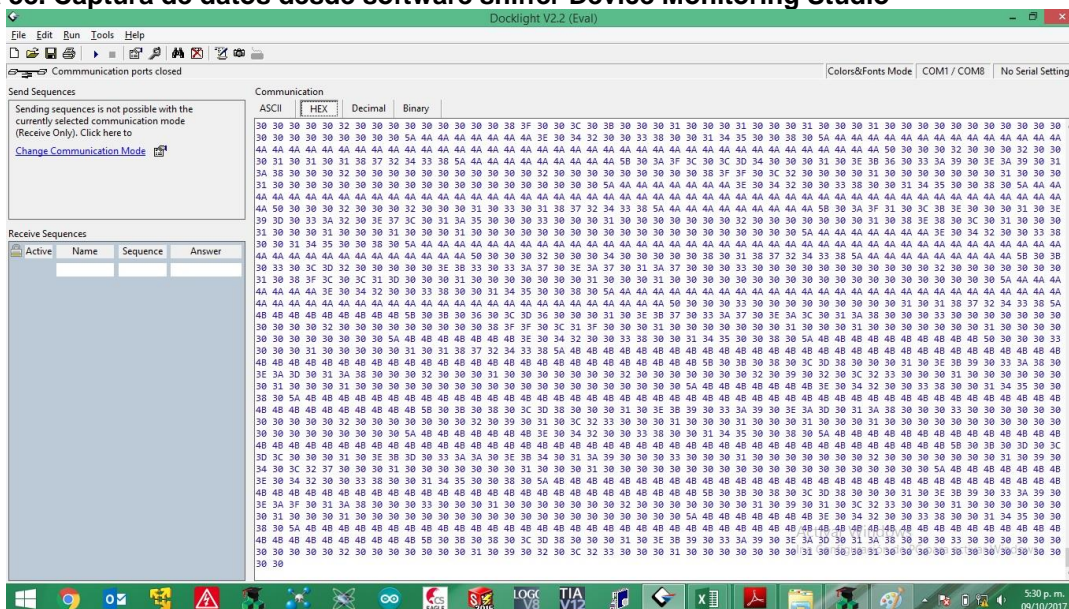
En la web se pueden encontrar distintos tipos de software *sniffer*, unos gratuitos y otros pagos, para las diferentes aplicaciones que el usuario requiera ejecutar. En esta ocasión se utilizan los siguientes *sniffer* gratuitos: *Device Monitoring Studio 7.8.1* y *Docklight 2.2.8*. Dicha selección se realiza de acuerdo con las pruebas realizadas con los mismos y a los resultados obtenidos cuyos criterios se basaron en la forma de adquisición y presentación de los datos obtenidos. Para la correcta visualización de la recepción de los datos a “escuchar” se realizó la configuración del *software* con ayuda del manual de cada uno de ellos y con las características de conexión ya identificadas anteriormente con ayuda del osciloscopio. Solo a manera ilustrativa, la Figura 37 y la Figura 38 muestran dos capturas de pantalla de las interfaces de software mencionadas que tienen como componente principal las tramas de comunicación entre la tarjeta electrónica de control y la interfaz hombre-máquina.

Figura 37. Captura de pantalla del software sniffer Device Monitoring Studio



Fuente: los autores

Figura 38. Captura de datos desde software sniffer Device Monitoring Studio



Fuente: los autores

Se revisa la información recolectada y se valida que los datos obtenidos son los mismos en ambos tipos de software, además, el software *Docklight 2.2.8* cuenta con la ventaja de poder visualizar los dos puertos de manera simultánea. Esto permitió identificar que la comunicación entre la P4 y *Logic Soft* se basa bajo una premisa de pregunta y respuesta, lo llevó a dar el paso siguiente en el análisis de la información.

3.2 ANÁLISIS DE TRAMAS DE COMUNICACIÓN

Debido a que el proveedor de la máquina no suministra información acerca del protocolo de comunicación implementado, se optó por estudiar el comportamiento de la información obtenida versus el comportamiento de la máquina. Esto quiere decir que si la máquina se encuentra en alguno de sus estados de trabajo de operación (produciendo o detenida), la comunicación también debe evidenciar algún comportamiento específico en su contenido. Adicional a lo anterior se buscó identificar si la trama recolectada también incluye información adicional a los estados mencionados, tales como el estado de todas las E/S (entradas y salidas) digitales y analógicas, cantidades producidas, tipo de figura programada, etc.

Con fines de visualización, la información recolectada en distintos tipos de software *sniffer* a continuación se muestran los datos que la P4 envía al software *Logic Soft* en formato hexadecimal.

Con la máquina detenida (sin producir) la P4 envía los datos en formato hexadecimal que se muestran en la Figura 39, Figura 40 y Figura 41.

Figura 39. Datos hexadecimal 1 estado de máquina: detenida

5A	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	5B	55	55	55
55	55	55	30	3A	3D	30	3A	3D	30	3C	37	30	3C	3E	30	30	30
30	30	3E	30	30	30	30	30	35	34	35	30	3B	30	37	30	30	3E
30	30	34	37	30	34	30	32	39	30	3B	39	30	3C	3B	3C	30	30
30	32	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	31	30	30	30	30
30	30	30	30	30	31	30	30	30	30	30	30	30	30	3E	30	30	30
30	30	37	38	30	3A	30	3A	30	30	30	31	30	3A	30	3A	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	32	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	31	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	5A									

Fuente: Los autores

De los datos anteriores se identifican las siguientes características:

- El primer y último byte hexadecimal 0x5A corresponden a bytes de inicio y final de trama.
- La longitud de las tramas no siempre son iguales o estándares. En la Figura 39 se cuentan 206 bytes, en la Figura 40 se cuentan 189 bytes y en la Figura 41 se cuentan 285 bytes.
- Luego del byte de inicio 0x5A siempre sigue una serie de valores hexadecimales 0x55.

Luego con la máquina operando (produciendo) la P4 envía los datos en formato hexadecimal que se muestran en la Figura 42, Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46.

Figura 42. Datos hexadecimal 1, estado de máquina: produciendo

5A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A
4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A
4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A
4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A
4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A
4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A
4A	4A	4A	4A	50	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	35	34	38	37	33	34	33	32	32	5A							

Fuente: los autores

Figura 43. Datos hexadecimal 2 estado de máquina: produciendo

5A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	5B	30	3A	3A	39	30	3C	34
30	3A	3A	39	30	3C	33	30	30	30	30	30	3E	33	30	30	30	30
30	30	3F	30	3B	30	3F	30	33	37	33	30	3E	30	30	34	30	30
34	30	31	35	30	3B	35	30	37	38	30	30	30	32	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	31	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	31
30	30	30	30	30	30	31	30	30	30	30	3E	30	33	32	33	30	34
30	31	3D	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	32	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	31	30	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	5A

Fuente: los autores

Figura 44. Datos hexadecimal 3 estado de máquina: produciendo

5A	4A	30	30	30	30	4A	4A	4A	4A	4A	4A	3E	30	34	30	30	30
30	33	30	30	30	31	30	30	30	33	30	30	30	37	35	30	30	33
30	5A																

Fuente: los autores

Figura 45. Datos hexadecimal 4 estado de máquina: produciendo

5A	4A	35	30	30	33	30	5A										
----	----	----	----	----	----	----	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: los autores

Figura 46. Datos hexadecimal 5 estado de máquina: produciendo

5A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A
4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A
4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	50	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	34	38	37
33	32	32	5A														

Fuente: los autores

De los datos anteriores se identifican las siguientes características:

- El primer y último byte hexadecimal 0x5A corresponden a bytes de inicio y final de trama.
- La longitud de las tramas no siempre son iguales o estándares. En la Figura 42 se cuentan 137 bytes, en la Figura 43 se cuentan 162 bytes, en la Figura 44 se cuentan 38 bytes, en la Figura 45 se cuentan 8 bytes y en la Figura 46 se cuentan 77 bytes.
- Luego del byte de inicio 0x5A siempre sigue una serie de valores hexadecimales 0x4A.

Durante las pruebas realizadas se evidencio otra serie de datos que se genera justo después que el operario da la orden para que inicie la producción y justo antes que la máquina ejecute la orden recibida. En la Figura 47 se muestra el resultado recolectado.

Figura 47. Datos hexadecimal 1 estado de máquina: intermedio

5A	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	5A				

Fuente: los autores

De los datos anteriores se identifican las siguientes características:

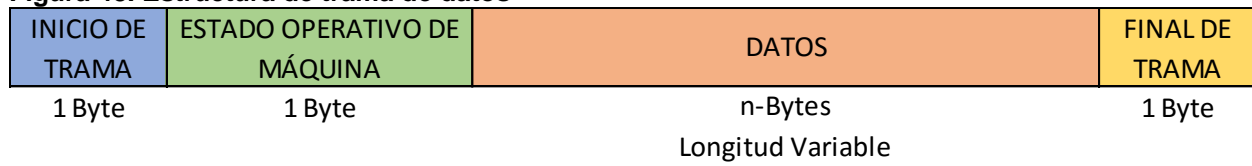
- El primer y último byte hexadecimal 0x5A corresponden a bytes de inicio y final de trama.
- La longitud de la trama es de 248 bytes, lo cual sigue siendo diferente en cada trama analizada.
- Luego del byte de inicio 0x5A sigue una serie de valores hexadecimales 0x4B.

En todos los muestreos, se realizó la comparación de la estructura de datos recolectada versus estructuras de protocolos estándares que hacen uso del estándar RS232 para su transmisión de datos tales como Modbus y Profibus, pero ninguna de sus estructuras coincide con las reglas de dichos protocolos.

Luego de aproximadamente dos horas recolectando datos de esta misma forma y durante tres días, se identificó la estructura de la trama de información que se muestra en la Figura 48. Se concluye que el primer byte hexadecimal que precede al byte hexadecimal de inicio 0x5A es como la tarjeta P4 le informa al *software Logic Soft* el estado operativo de la máquina. Es decir, se ha logrado identificar la forma cómo por medio de comunicaciones la tarjeta P4 informa el estado operativo de la máquina y así

el entorno gráfico de *Logic Soft* lo puede mostrar en la parte inferior de cada pantalla como se muestra en el capítulo 2.

Figura 48. Estructura de trama de datos



Fuente: Los autores

4. APLICACIÓN IMPLEMENTADA PARA EL SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICO DE DEMORAS

En el desarrollo de la aplicación se busca “escuchar” la comunicación actual entre los equipos y de allí tomar la información que corresponde al estado operativo de máquina la cual ya se sabe que se encuentra en el segundo byte de la trama que se adquiere.

Para lograr lo anterior se implementó una aplicación con la capacidad de adquirir la información del puerto serial del computador utilizado para la transferencia de datos entre la interfaz hombre-máquina y la tarjeta electrónica de control. Adicional a lo anterior se desarrolló un entorno gráfico similar al sistema de control de demoras estándar de Ternium que se muestra en el capítulo 1.2.

Por los requerimientos de aplicación y la experiencia en el manejo de este, se seleccionó el software *Indusoft Web Studio Educational V8.0*, el cual cuenta con 208 drivers disponibles para la conexión con diferentes dispositivos. Dentro de estos se encuentra el driver TXRX que permite poder adquirir los datos que ingresan por el puerto serial del computador [14].

Adicional a lo anterior la Universidad Tecnológica de Pereira cuenta con un convenio académico con *InduSoft Web Studio*, convenio que permite el uso del software con fines educativos.

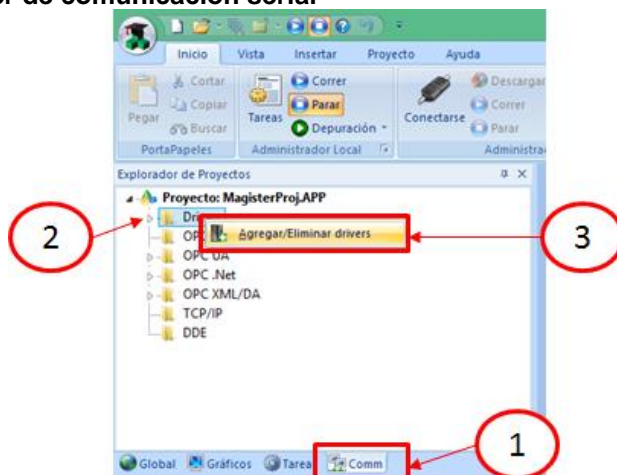
4.1 DESARROLLO DE APLICATIVO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICO DE DEMORAS

El paso principal en el desarrollo propuesto se basó en configurar y validar el *driver* de comunicación TXRX para lograr la lectura adecuada de información desde Indusoft. A continuación, se encuentran los pasos requeridos para esto.

Selección y configuración driver de comunicaciones en software Indusoft Web Studio Educational V8.0

Una vez creado el proyecto en *Indusoft Web Studio Educational V8.0*, se procede a agregar y configurar el *driver*, para esto dirigirse a la pestaña Comm (1) en el explorador de proyecto, clic derecho en la carpeta Drivers (2) y clic izquierdo en Agregar/Eliminar driver (3) (Ver Figura 49).

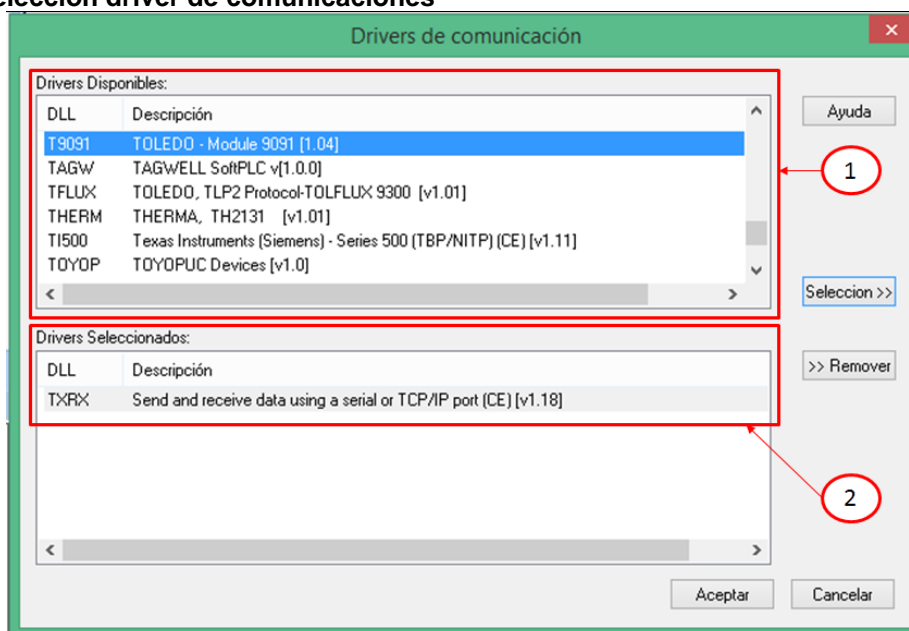
Figura 49. Agregar driver de comunicación serial



Fuente: los autores

Una vez se abre la ventana emergente de título Drivers de comunicación, se realiza la búsqueda dentro del listado de Drivers Disponibles (1) y se da doble clic en el *driver* con nombre TXRX. Luego de lo anterior se verifica que dentro del área Driver seleccionados (2) se encuentra la selección realizada. Para finalizar, se da clic en aceptar para finalizar con el proceso correspondiente (Ver Figura 50).

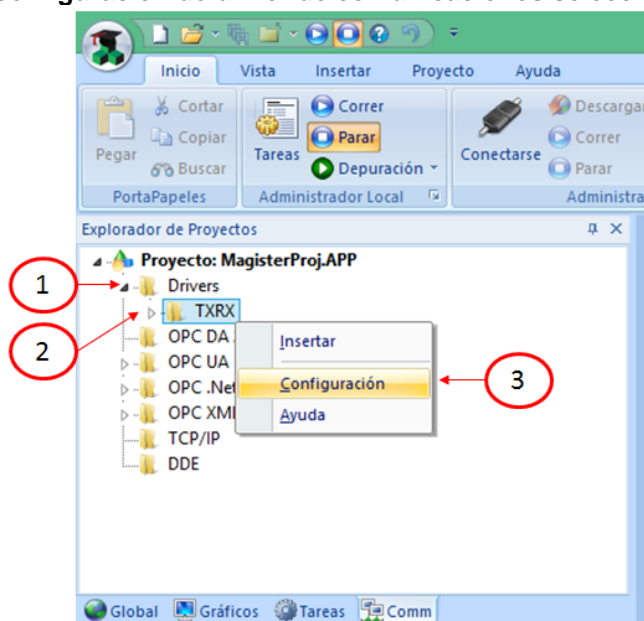
Figura 50. Selección driver de comunicaciones



Fuente: los autores

Aún dentro de la pestaña Comm, se realiza el despliegue de la carpeta Drivers (1), se hace clic derecho en la carpeta TXRX y clic en la opción Configuración (3) (Ver Figura 51).

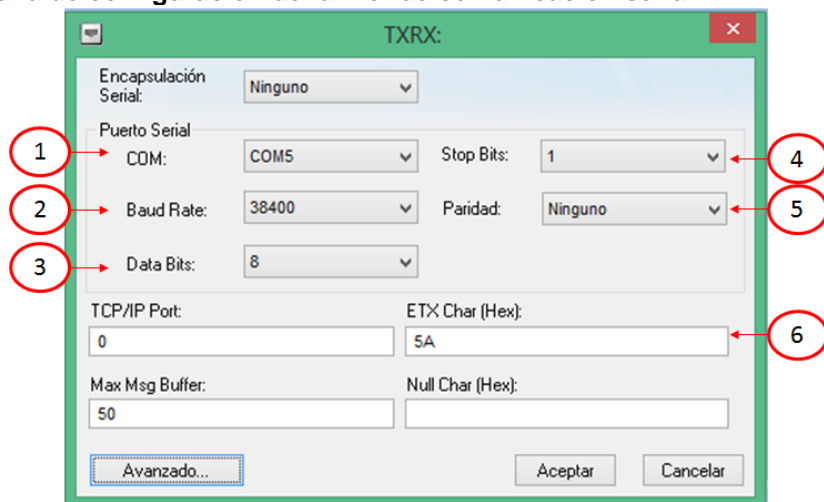
Figura 51. Opción de configuración de driver de comunicaciones seleccionado



Fuente: los autores

Se abre la ventana emergente con título TXRX y es aquí en donde se realiza la configuración correspondiente para poder recibir los datos transmitidos por la tarjeta electrónica al computador de operaciones. A continuación, se nombra los campos a modificar o ajustar. En *COM* (1) se selecciona el puerto por el cual se ha realizado la conexión del *sniffer* al computador, *Baud Rate* (2) es la velocidad de comunicación ya establecida por el fabricante debido a que, si se desea realizar una correcta captura de trama, el equipo debe poder “olfatear” o “escuchar” igual de veloz a la que la tarjeta electrónica P4 transmite. *Data Bits* (3) es la cantidad de bits enviados en cada carácter, *Stop Bits* (4) cantidad de bits que se envían al final de la información para indicar que la misma ha concluido. *ETX Char* (Hex) es el carácter dentro de la trama de comunicaciones que indica el final del mensaje, para este caso y como se describió en el capítulo anterior es el hexadecimal 0x5A (Ver Figura 52). [16]

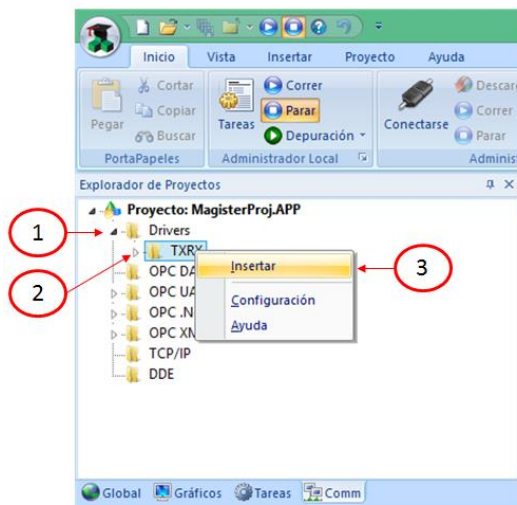
Figura 52. Ventana de configuración del driver de comunicación serial TXRX



Fuente: los autores

El *driver* seleccionado y configurado contiene una o más hojas de cálculo del controlador que son usadas para asociar *tags* de la base de datos de *Indusoft* con operandos en el dispositivo de destino. Para realizar la configuración de la hoja de cálculo del *driver*, se deben seguir los siguientes pasos. En la pestaña Comm, se realiza el despliegue de la carpeta Drivers (1), clic derecho en la carpeta TXRX (2) y se da clic en la opción Insertar (3) (Ver Figura 53).

Figura 53. Insertar hoja de driver



Fuente: los autores

Se abrirá e insertará una nueva hoja de cálculo para el *driver* TXRX. En esta solo se configurarán pocos campos. En el campo Descripción (1) detalle de manera muy corta la función de la hoja de *driver* insertada, en el campo Cabecera (2) se puede especificar tres tipos de configuración para los mensajes de entrada (recordar que solo se ejecutaran funciones de lectura), la primera de ellas es RXn función que escribe los mensajes entrantes a un *tag* específico cuando “n” carácter ingresan, la segunda de ellas es ETX,

función que escribe los mensajes entrantes a un *tag* específico solo cuando uno de los ETX Char (Hex) previamente configurado (ver Figura 52) llegan por el puerto serial. La tercera de ellas es RXTIMEOUT, función que escribe los datos de entrada en un *tag* específico solo cuando no hay el ETX Char (Hex) configurado en la trama. En este caso la configuración seleccionada es ETX. En el campo de la hoja de cálculo en las celdas correspondientes a la columna Nombre de Tag (3), se inserta o se crea el *tag* (4), el cual va a asociar la información entrante relacionada con el campo Dirección (5). En el campo Dirección (5) se usa la siguiente sintaxis *HL =< Longitud de mensaje >* (6). De esta manera se indica que la información guardada en el *tag* correspondiente va a ser de tipo hexadecimal con una longitud determinada (Ver Figura 54). [16]

Figura 54. Configuración hoja de cálculo de drives TXRX

The screenshot shows the configuration window for TXRX001.DRV. It includes a description field, a priority checkbox, and several trigger and state configuration fields. Below these is a table with four columns: 'Nombre de Tag', 'Dirección', 'Div', and 'Añadir'. The table contains two rows of data. Red circles with numbers 1 through 6 point to specific elements: 1 points to the 'Rx Recepción' description; 2 points to the 'Cabecera' field with the value 'ETX'; 3 points to the 'Nombre de Tag' column header; 4 points to the 'End_delimeter' and 'State' tags in the first two rows; 5 points to the 'Div' column header; and 6 points to the 'HL:1' values in the 'Dirección' column.

Nombre de Tag	Dirección	Div	Añadir
1 End_delimeter	HL:1		
2 State	HL:1		

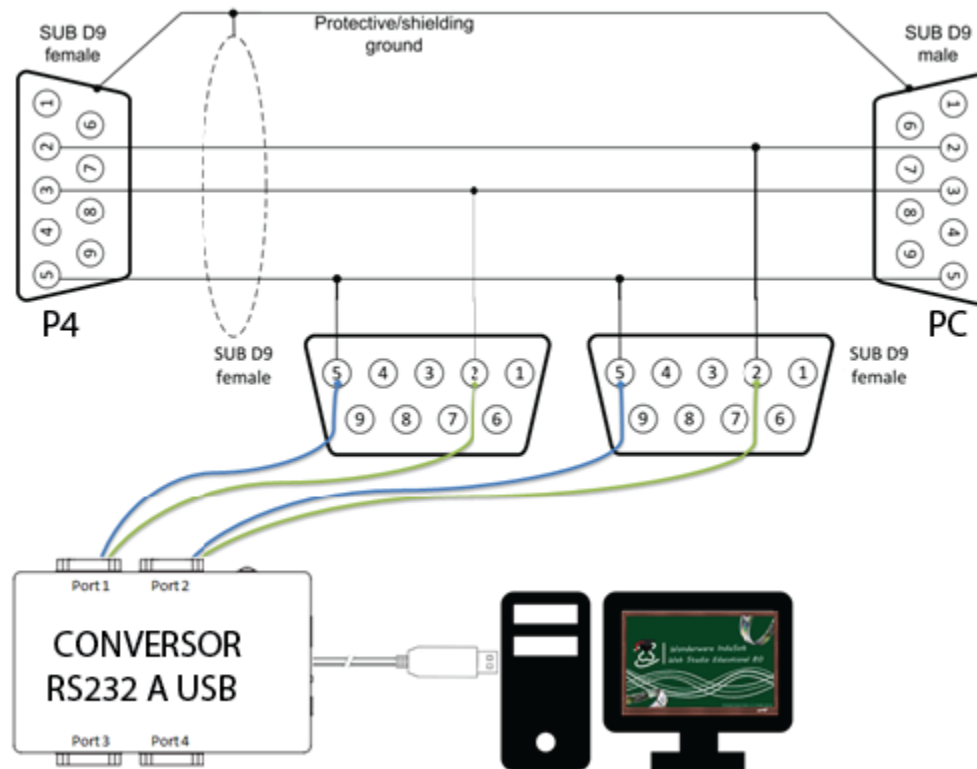
Fuente: los autores

La configuración de la Figura 54 tiene el siguiente significado: luego que el driver detecta un valor hexadecimal igual a 5A (ver Figura 52) el cual es configurado como valor de ETX, el valor hexadecimal siguiente es almacenado en el *tag* creado con el nombre End_delimeter y el segundo valor hexadecimal de la cadena es almacenado en el *tag* creado con el nombre State (*tag* que indica el estado actual de la máquina). Lo anterior significa que la posición hexadecimal número dos dentro de la trama de comunicaciones es el estado en el que se encuentra la máquina.

Prueba de recepción de comunicación

Luego de la configuración realizada para el *driver* de comunicación serial seleccionado, es importante realizar la prueba de recepción de la información que se desea adquirir. Para ello se debe realizar la conexión de la Figura 55 y ejecutar una secuencia lógica de pasos.

Figura 55. Conexión para la lectura de comunicación desde Indusoft

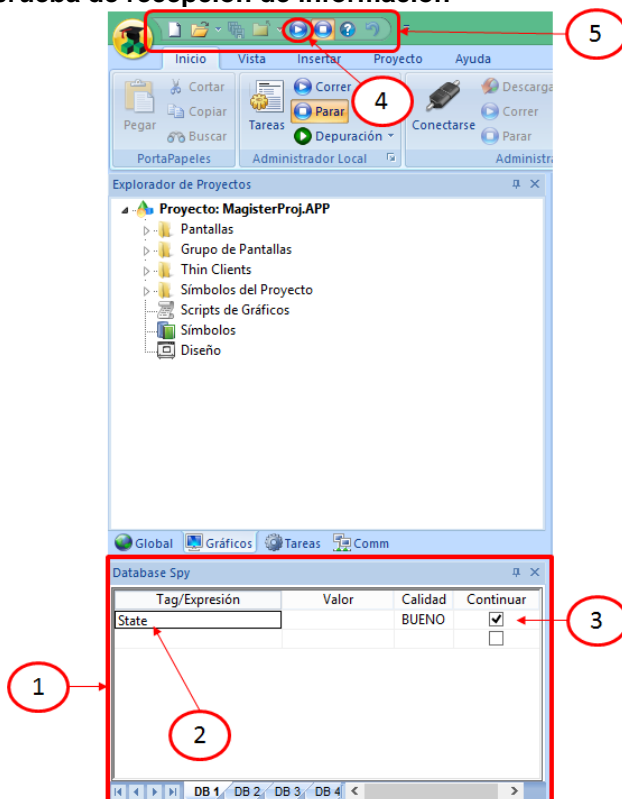


Fuente: los autores

Los pasos necesarios se describen a continuación:

Se inserta una pantalla cualquiera en el proyecto, la misma puede estar en blanco, en el área Database Spy (1) se inserta el tag creado con nombre State (2) y se verifica que el check box de la columna Continuar (3) se encuentre seleccionado. Se da inicio a la aplicación dando clic al botón Correr (4) ubicado en la barra de herramientas de acceso rápido (5) (Ver Figura 56).

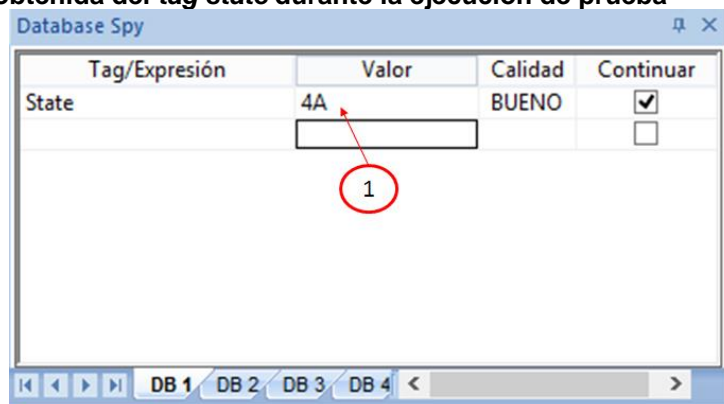
Figura 56. Arranque de prueba de recepción de información



Fuente: los autores

Ahora que el proyecto ha iniciado la ejecución y el mismo no reporta error alguno, se regresa al entorno de desarrollo (sin detener la ejecución de la aplicación) y se verifica el valor que ha obtenido el *tag* en la celda correspondiente a la columna VALOR (1). Dicho valor toma alguno de los tres estados representados en formato hexadecimal antes descritos: 0x4A – 0x55 – 0x4B (Ver Figura 57).

Figura 57. Variable obtenida del *tag state* durante la ejecución de prueba

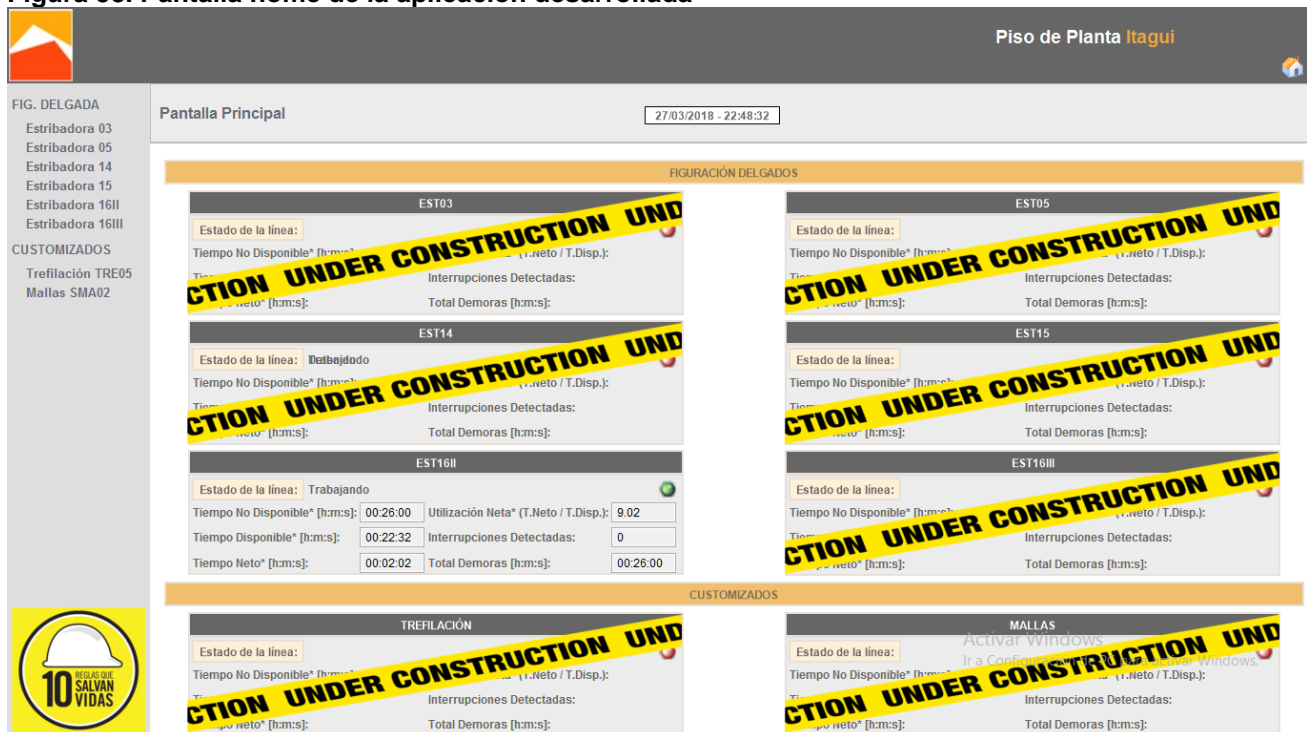


Fuente: los autores

Entorno gráfico para la aplicación

Las Figura 58 y la Figura 59 muestran el entorno gráfico desarrollado e implementado para la aplicación de detección automático de interrupciones.

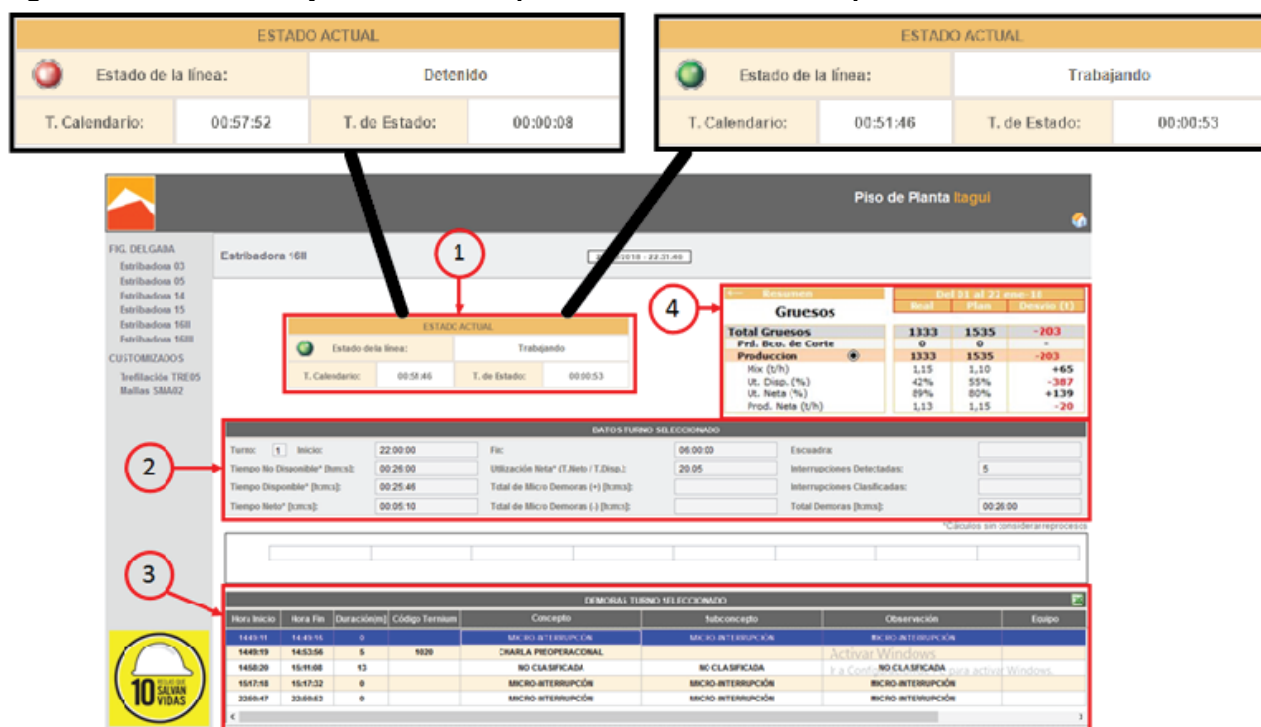
Figura 58. Pantalla home de la aplicación desarrollada



Fuente: los autores

La Figura 58 representa la pantalla principal de la aplicación, en esta se puede ver el estado actual de la máquina, el tiempo no disponible, el tiempo disponible, tiempo neto, utilización neta, cantidad de interrupciones detectadas y el tiempo total de demoras. Actualmente solo se ha habilitado para una sola máquina y por lo tanto las demás están en proceso de construcción o implementación. En el costado izquierdo se encuentra el menú de navegación para visualización de información ampliada en cada una de las máquinas según la línea en la que se encuentren.

Figura 59. Estado "trabajando" de la máquina a la cual se le intercepta la comunicación



Fuente: los autores

La pantalla de la Figura 59 representa la vista ampliada de una máquina seleccionada. En la misma se puede evidenciar el estado operativo en el que se encuentra el equipo (1), datos del turno seleccionado (2) tales como el turno en curso, la hora de inicio y fin del turno en curso, el tiempo disponible, tiempo no disponible, tiempo neto, utilización neta, tiempo total de las llamadas "microdemoras", cantidad de interrupciones detectadas y el tiempo total de las demoras. Adicional se muestra el listado de las paradas detectadas (3) así como la producción de la máquina (4). Esta última aún en construcción.

Figura 60. Ventana emergente en donde el operario debe reportar la causa del paro detectado

FIG. DELGADA
 Estribadora 03
 Estribadora 05
 Estribadora 14
 Estribadora 15
 Estribadora 16II
 Estribadora 16III

CUSTOMIZADOS
 Inyección 11E05
 Mallas SMA32

ESTRIBADORA 16II | 27/03/2018 | 23:03:43

ESTADO ACTUAL
 Estado de la línea: Trabajando
 T. Calendario: 04:03:43 | T. de Estado: 00:00:47

Resumen
Gruesos
 Total Gruesos: 1333 | 1535 | -203
 Prd. Dco. de Corte: 0 | 0 | -
 Producción: 1333 | 1535 | -203
 Mix (t/h): 1,15 | 1,10 | +65
 Lit. Disp. (%): 42% | 55% | -387
 8% | 80% | +139
 13 | 1,15 | -20

Del 01 al 22 ene-18
 Real | Plan | Desvio (t)
 1333 | 1535 | -203
 0 | 0 | -
 1333 | 1535 | -203
 1,15 | 1,10 | +65
 42% | 55% | -387
 8% | 80% | +139
 13 | 1,15 | -20

REPORTE DE PARO
 Hora Inicio: 22:57:44 | Hora Fin: 23:02:56
 Codigera: 2021Interrupciones \ Operativas \ Preparación de equipos \ Carga de MP y/o enhebr
 Concepto: ENHEBRADO
 Subconcepto:
 Observación:
 Equipo: EST12
 REPORTAR

Hora Inicio	Hora Fin	Diferencia
14:48:11	14:48:16	0
14:48:19	14:53:58	5
14:48:20	14:51:05	13
16:17:10	16:17:52	0
22:59:47	22:59:53	0

10 AÑOS DE SALVAR VIDAS

Fuente: los autores

La Figura 60 muestra la ventana emergente que se abre cuando una parada se ha presentado y la misma ha finalizado. Esto con el objetivo que el operario clasifique el tipo de parada y se puedan gestionar los indicadores de manera mucho más eficiente. En esta clasificación, el operario selecciona la categoría de la parada de un listado de códigos previamente definidos entre las diferentes áreas de la compañía.

Al momento de dar clic en reportar la tabla de demoras se actualiza de manera inmediata y adicional actualiza un archivo con extensión .xml en donde se almacena y guarda de manera automática la información reportada por el operario. Logrando así tener un archivo portable y poder tratar la información recolectada de las diferentes formas que la compañía lo requiera.

Figura 61. Archivo xml donde queda almacenada la información

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Hora Inicio	Hora Fin	Duración (min)	Código Ternium	Concepto	Subconcepto	Observación	Equipo	Fecha in	Fecha fin	
2	14:49:11	14:49:16	0		MICRO-IN	MICRO-INTER	MICRO-INTERRUPCIÓN		24/01/201	24/01/2018	
3	14:49:19	14:53:56	5	1020	CHARLA PREOPERACIONAL				24/01/201	24/01/2018	
4	14:58:20	15:11:08	13		NO CLASIF	NO CLASIFIC	NO CLASIFICADA		24/01/201	24/01/2018	
5	15:17:18	15:17:32	0		MICRO-IN	MICRO-INTER	MICRO-INTERRUPCIÓN		24/01/201	24/01/2018	
6											
7											

Fuente: los autores

La Figura 61 muestra el resultado de todas las paradas detectadas por el sistema de interrupciones, las cuales son registradas de manera automática en formato .xml. Con esto se busca que la información se presente de manera similar al archivo que actualmente se utiliza para digitalizar la información contenida en el formato de tiempos diligenciados de manera manual por los operarios de máquinas.

5. RESULTADOS

El objetivo de un sistema de gestión operativa es promover la mejora continua de las actividades industriales, brindando una percepción clara de la realidad de la línea y el alcance de responsabilidad con los estándares, indicando claramente los desvíos, de cada proceso, respecto a sus estándares, tendencia histórica, a través de una conexión directa entre los indicadores y la performance de la maquina o línea. [8]

Para validar y poder determinar el impacto generado dentro del sistema de gestión operativa de Ternium planta Itagüí, se realizó una comparación entre el sistema de detección automático implementado y el registro manual utilizado hasta la fecha por el área de producción. De lo anterior se obtiene la información de la Tabla 5.

Tabla 5. Registro de tiempos sistema de demoras automático vs registro manual

Medio	Tipo	Tiempos de parada [h/día]				
		7	9	11	12	13
Sistema demoras automático	Automático	16	12	14	14	16
Registro tiempos	Manual	8	10	7	6	9
Variación [manual vs auto]		-8	-2	-7	-8	-7

Fuente: los autores

De la información recopilada y analizada se puede notar la gran discrepancia en horas del registro de paradas por parte del operario de manera manual con las horas de paradas registradas por el sistema de manera automática. Lo anterior se genera debido a que se identificaron aspectos importantes tales como:

- Los operarios no registran tiempos inferiores a 5 minutos.
- En ocasiones por las tareas diarias de operación, no registran los tiempos de inicio de fin de las paradas en el instante postergando dicho registro para el final del turno.
- En ocasiones se generan dudas ante la veracidad de los tiempos registrados.
- Los operarios no registran actividades cotidianas extra laborales como: desplazamiento para hidratación, ida al baño, pausas activas y posibles llamadas telefónicas de ámbito personal.

CONCLUSIONES

El protocolo de comunicación identificado entre la máquina y el panel de operación es un protocolo propietario desarrollado por STEMA PEDAX. Sin embargo, este se acoge a los estándares de comunicación respecto de capa física de RS232. Luego de la lectura de los documentos técnicos de la máquina y la verificación de las características eléctricas con el osciloscopio, se hizo posible implementar un sistema para adquirir eléctricamente las señales sin alterar la comunicación misma entre el panel de operador y la máquina.

La aplicación permitió identificar tramas de comunicación de longitud variable, con byte de cabecera 0x5A y la marca o byte de información dentro de la trama que especifica el estado operativo de maquina en producción. El byte correspondiente está en la posición 2 de la trama, y corresponde a valores hexadecimales 0x4A para maquina en producción y un valor diferente para maquina detenida.

El protocolo propietario de comunicaciones de la máquina, hacía de esta una isla de automatización que no permitía su integración tecnológica al resto de la empresa. Al lograr adquirir la información del protocolo y procesarla dentro de un sistema informático, se logró integrar la máquina al resto de la empresa.

Así mismo, los protocolos propietarios hacían que la empresa tuviera una dependencia tecnológica con los desarrolladores de la máquina para temas que tecnológicamente se abordaron con el conocimiento y capacidades adquiridas durante el proceso de formación. A través de la implementación realizada, se logra romper una dependencia con el fabricante para una serie de operaciones importantes para la compañía.

Por otra parte, la alta diferencia de horas registradas de manera manual versus el registro de manera automática evidencia el alto porcentaje de error que tiene actualmente la línea y las oportunidades de mejora para lograr un impacto positivo en la gestión y toma de decisiones.

Por consiguiente, el sistema automático de interrupciones arrojó una radiografía en tiempo real del estado actual de la máquina permitiendo con ayuda de los indicadores de gestión tomar decisiones con un mínimo margen de error que conlleven a catapultar los resultados de producción mejorando la utilización del equipo.

Adicional a lo anterior, al disminuir la intervención manual en la digitación de la información, le permite al operario disminuir sus tiempos muertos y se logró llevar un registro de información veraz y objetivo.

Con el sistema automático de interrupciones se logra una mejora en la adquisición de tiempos reales de hasta el 50%. Permitiendo a la compañía tener información fiable para construir indicadores de gestión eficientes, que permitan tomar decisiones estratégicas.

Por último, el sistema de detección automático de demoras implementado se convierte en una de las principales herramientas de gestión. Este brinda un ambiente de trabajo

que permite a los distintos niveles involucrados en la gestión operativa, acceder a la información relevante para el control de gestión y el cálculo de los indicadores, permitiendo llevar los planes de mejora necesarios para el cumplimiento de las metas establecidas en los planes de producción.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con el estudio e identificación de las tramas de comunicación desarrolladas por STEMA PEDAX para poder adquirir más información de la máquina. Por ejemplo, tipo de figura programada, cantidad de figuras realizadas, estado de E/S.
- A mediano plazo se puede implementar el uso de equipos adicionales para llevar la información a comunicaciones inalámbricas, esto para poder abarcar y centralizar la información de las demás máquinas existentes en Ternium planta Itagüí.
- A largo plazo se puede subir la información de gestión en tiempo real a la red corporativa para poder ser visualizada por coordinadores y altos mandos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ternium, «Ternium,» 29 5 2018. [En línea]. Available: <http://co.ternium.com/productos-ternium/largos-colombia/>.
- [2] J. J. Anaya Tejero, Organización de la producción industrial. Un enfoque de gestion operativa en fabrcia, Madrid: ESIC, 2016.
- [3] Ternium Colombia, *Catálogo de Soluciones Ternium Colombia*, 2018.
- [4] MEP Macchine Elettroniche Piegatrici S.p.A., *Manual de Uso y Manutención*, MI/FC12/02r00-E ed., Friuli-Venecia Julia, 2005.
- [5] C. Grisales y D. A. Gutierrez Gomez, «Gestión de Ingenieria Industrial,» Itagüí, 2015.
- [6] D. Stamatis, *The-OEE-Primer-Understanding-Overall-Equipment-Effectiveness-Reliability-and-Maintainability-*, New York, NY: Taylor & Francis Group, 2010.
- [7] V. Guerrero, R. L. Yuste y L. Martinez, Comunicaciones Industriales, ALFAOMEGA.
- [8] H. F. Tipton y M. Krause, *Information Security Management Handbook*, Auerbach: CRC Press LLC, 2004.
- [9] Indusoft Web Studio, «Indusoft Web Studio,» 18 05 2018. [En línea]. Available: <http://www.indusoft.com/Products-Downloads/HMI-Software/InduSoft-Web-Studio>.
- [10] Indusoft Web Studio, «TXRX - Driver revision 1.18,» 2011.
- [11] Ternium, «Sistema de Gestión Operativa,» 2007.
- [12] E. García Moreno, AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES, Valencia: Alfaomega, 2001.
- [13] M. P. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*, New Jersey: Prentice Hall, 2007.
- [14] M. Dominguez, Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción, Madrid: McGraw-Hill, 1994.
- [15] J. Miltenburg, *Manufacturing Strategiy* 2nd edition, New York: Productivity press, 2005.
- [16] M. Walton, *The Deming Management Method*, Penguin Group, 1986.
- [17] W. E. Deming, *Out of the crisis*, The MIT Press, 2000.
- [18] S. A. Boyer, *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition*, ISA, 2004.
- [19] D. Wetteroth, *OSI REFERENCE MODEL for TELECOMUNICACIONES*, McGraw-Hill, 2003.
- [20] L. M. Thompson, *Industrial Data Communications*, ISA, 2008.
- [21] R. J. Shimonski, W. Eaton, U. Khan y Y. Gordienko, *Sniffer Pro: Network Optimization & Troubleshooting Handbook*, Syngress, 2002.
- [22] Texas Instruments, «Texas Instruments,» 15 04 2018. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>.
- [23] C. Peacock, «Beyond Logic,» 05 05 2018. [En línea]. Available: <https://retired.beyondlogic.org/serial/serial.pdf>.

- [24] picbasic, 08 03 2018. [En línea]. Available: <http://www.picbasic.co.uk/forum/showthread.php?t=23639>.
- [25] STEMA PEDAX, *Electrical System*, 2004.
- [26] TERNIUM, «TERNIUM COLOMBIA,» 28 05 2018. [En línea]. Available: <http://co.ternium.com/quienes-somos/>.
- [27] Comercializadora Dorba SA de CV, «Varillas,» 05 29 2018. [En línea]. Available: <http://www.dorba.com.mx/varilla.php>.
- [28] JACOM, «Malla Electrosoldada,» 30 05 2018. [En línea]. Available: <https://jacomgroup.com/malla-electrosoldada/>.
- [29] STEMA PEDAX, *Manual máquina Estribadora TWINMASTER 16 II Modelo 021 Máquina No. 112*, kvistgard: STEMA PEDAX, 2008.

ANEXOS

Para el desarrollo, implementación y correcta visualización de información, se desarrolló un código bajo lenguaje Visual Basic Script, que es el lenguaje usado por el software *Indusoft* para crear sentencias, funciones, etc.

A continuación, se plasma los códigos desarrollados para el aplicativo implementado.

Figura 62. Script global de la aplicación

```
1 Sub Graphics_OnStart()
2
3   $SetDateFormat("/", "DMY")           'Configuración de hora para ser mostrada en el formato dd/mm/aaa:
4
5 End Sub
6
7 Sub Graphics_WhileRunning()
8
9   If $Hour2Clock( $Time ) > 79199 And $Hour2Clock( $Time ) <= 86399 Then '.....:TURNO 1:.....
10  $Turno=1
11  $TC=$ClockGetTime( $Hour2Clock( $Time ) - 79200, 1 )                 '.:Esta sentencia se utiliza para determinar de manera automática el
12  $Inicio="22:00:00"                                                    'turno en el que se encuentra la operación. (Turno 1: 10 pm a 6: am)
13  $Fin="06:00:00"
14 End If
15
16 If $Hour2Clock( $Time ) >= 0 And $Hour2Clock( $Time ) < 21600 Then      '.....:TURNO 1:.....
17 $Turno=1
18 $TC=$ClockGetTime( $Hour2Clock( $Time ) + 7200, 1 )                   '.:Esta sentencia se utiliza para determinar de manera automática el
19 $Inicio="22:00:00"                                                    'turno en el que se encuentra la operación. (Turno 1: 10 pm a 6: am)
20 $Fin="06:00:00"
21 End If
22
23 If $Hour2Clock( $Time ) > 21599 And $Hour2Clock( $Time ) < 50400 Then  '.....:TURNO 2:.....
24 $Turno=2
25 $TC=$ClockGetTime( $Hour2Clock( $Time ) - 21600, 1 )                 '.:Esta sentencia se utiliza para determinar de manera automática el
26 $Inicio="06:00:00"                                                    'turno en el que se encuentra la operación. (Turno 2: 6 am a 2: pm)
27 $Fin="14:00:00"
28 End If
29
30 If $Hour2Clock( $Time ) > 50399 And $Hour2Clock( $Time ) < 79200 Then  '.....:TURNO 3:.....
31 $Turno=3
32 $TC=$ClockGetTime( $Hour2Clock( $Time ) - 50400, 1 )                 '.:Esta sentencia se utiliza para determinar de manera automática el
33 $Inicio="14:00:00"                                                    'turno en el que se encuentra la operación. (Turno 3: 2 pm a 10: pm)
34 $Fin="22:00:00"
35 End If
36
37 End Sub
38
39 Sub Graphics_OnEnd()
40
41 End Sub
```

Fuente: los autores

Fuente: los autores

73